



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOONAS RANTANEN  
MEKAANISTEN LAITTEIDEN SUUNNITTELU RÄJÄHDYSVAA-  
RALLISEEN TILAAN DISPOSITIOMENETEMÄN AVULLA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Tero Juuti  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 5. joulukuuta  
2015

## TIIVISTELMÄ

**JOONAS RANTANEN:** Mekaanisten laitteiden suunnittelu räjähdysvaaralliseen tilaan dispositiomenetelmän avulla  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 60 sivua, 18 liitesivua  
Joulukuu 2018  
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu  
Tarkastaja: professori Tero Juuti

Avainsanat: ATEX, Ex, räjähdysvaarallinen, dispositiomenetelmä, opinnäytetyö

Hydraulisesti toimivia korkeapainevesipumppuja(HPW) valmistava hydraulikka-alan yritys, Dynaset Oy haluaa laajentaa HPW tuotteidensa markkina-aluetta räjähdysvaarallisiin tiloihin. Mekaanisten laitteiden myymiseksi räjähdysvaaralliseen tilaan, tulee niiden täyttää ATEX- direktiivin vaatimukset. Räjähdysvaarallisella tilalla tarkoitetaan aluetta, jossa yksittäinen kipinä tai kuuma pinta saattaa aiheuttaa ympäröivän ilmaseoksen räjähtämisen tai räjähdysnomaisen tulipalon.

Tässä diplomityössä toteutettiin tuotekehitysprosessi dispositiomenetelmää hyväksi käyttäen Dynaset Oy:ssä. Dispositiomenetelmää suunnittelussa käytettäessä pyritään jokaisen suunnittelupäätöksen yhteydessä huomioimaan valinnan vaikutukset tuotteen koko elinkaaren aikana. Tuotekehitysprosessin tavoitteena oli toteuttaa räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuva tuoteperhe hydraulikorkeapainevesipumpuille teollisuuden tarpeisiin sekä sopivat mallit myös kaivosteollisuuden räjähdysvaarallisiin tiloihin.

Työ aloitettiin tutustumalla Dynaset Oy:n nykyiseen tuoteperheeseen sekä perehtymällä ATEX-direktiivin sekä standardien vaatimuksiin koskien mekaanisesti toimivia laitteita. Nykyisten laitteiden ominaisuuksia verrattiin direktiivin ja standardien vaatimuksiin, jonka jälkeen tehtiin valinnat, mille laitteille ATEX- hyväksynät halutaan. Valituille laitteille suoritettiin standardien vaatimat testit ja näiden perusteella määritettiin laitteille soveltuvat laiteluokat. Seuraavaksi siirryttiin suunnitteluvaiheeseen, jossa valittiin aina kulloiseenkin laiteluokkaan soveltuvat materiaalit ja komponentit hydraulikorkeapainevesipumpuille dispositiomenetelmää hyödyntäen.

Työn tuloksena saavutettiin selvät suunnitteluvaatimukset ATEX- tiloihin tarkoitetuille mekaanisille laitteille sekä saavutettiin halutut ATEX- hyväksynät nykyisille HPW malleille. ATEX- hyväksytyt laitteet ovat rakenteiltaan ja ominaisuuksiltaan poikkeavia perusmallien kanssa, jolloin ATEX laitteet muodostavat uuden tuoteperheen Dynaset Oy:n valikoimaan. ATEX-hyväksyntää tulee päivittää aina laitteiden rakenteiden muuttuessa tai haluttaessa uusia laitteita hyväksynnän piiriin. Dokumentit pitää joka tapauksessa päivittää hyväksynnän uusimisen yhteydessä 10 vuoden kuluttua edellisen dokumentaation toimittamisesta ilmoitetulle laitokselle, joka toimii valvovana viranomaistahona.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

## ABSTRACT

**JOONAS RANTANEN:** Design of a mechanical device into an explosive atmosphere with disposition method  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 60 pages, 18 Appendix pages  
December 2018  
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering  
Major: Design of machines and systems  
Examiner: Professor Tero Juuti

Keywords: ATEX, Ex, potentially explosive, dispositional mechanisms, thesis

Dynaset Oy is manufacturer of a hydraulically operated high pressure water pumps(HPW). Company's target is to expand HPW product family to include devices into potentially explosive environments. Mechanical devices must fulfil ATEX directive demands before products can sell into hazardous areas. Potentially explosive area is a place where single spark or hot surface could cause surrounding atmosphere to explode or to catch fire.

This thesis deals a product development process using a disposition method at Dynaset Oy. Dispositional mechanisms aim to notice every design choices affect to the products features throughout the life cycle at design process. The objective of this product development process is to produce a product family of hydraulic high pressure water pumps into hazardous areas at industrial use and suitable models for mining industrial uses.

Project start with get to known Dynaset Oy current models of HPW family and studying ATEX directive and suitable standards regarding requirements of mechanical devices. The features of the current models were compared with the directive and the requirements of the standard. Based on the comparison, the devices for which ATEX approval is sought were selected. Selected devices were subjected to the tests required by the standards and were used to determine ATEX classification for each device. The next step was the design phase, where materials and components suitable for the particular device category were selected for hydraulic high pressure water pumps using the dispositional method.

The work resulted in clear design requirements for mechanical equipment for ATEX zones and the desired ATEX approvals for existing HPW models. ATEX approved equipment has different structures and characteristics compared to the basic models, making ATEX equipment a new product family for Dynaset Oy's range. In any case, the documentation must be updated at the time of renewal of the approval 10 years after the submission of the previous documentation to the notified body, which is the supervising authority.

This thesis originality is checked with Turnitin OriginalityCheck –program.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty yhteistyössä Dynaset Oy:n kanssa. Työ toteutettiin yrityksen tiloissa Ylöjärvellä vuonna 2015. Työn tilaajana ja ohjaajana toimi Dynaset Oy:n suunnittelupäällikkö Timo Nieminen, lisäksi ohjaamisessa avusti Pasi Yli-Kätkä (mekaniikkasuunnittelija).

Diplomityön tarkastajana ja ohjaajana toimi professori Tero Juuti, jota haluan kiittää työn ohjaamisesta, tarkastamisesta sekä hyvistä ohjeista. Haluan kiittää Dynaset Oy:tä ja erityisesti Timo Niemistä, joka tarjosi minulle tämän mielenkiintoisen ja haastavan diplomityöaiheen. Lisäksi haluan kiittää projektin ohjaajana toiminutta Pasi Yli-Kätkää sekä muita Dynaset Oy:n työntekijöitä, jotka auttoivat minua työn toteutuksessa.

Suurimmat kiitokset haluan esittää vanhemmilleni, jotka mahdollistivat minun opiskeluni Tampereen Teknisessä Yliopistossa. Haluan lisäksi kiittää sisaruksiani sekä kaikkia ystäviäni, jotka kannustivat ja motivoivat minua tämän diplomityön suorittamisessa loppuun.

Tampereella, 30.12.2018

Joonas Rantanen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoitteet.....	1
1.2	Ongelman asettelu ja tutkimuskysymykset .....	2
1.3	Työn rakenne ja rajausta .....	2
2.	TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....	4
2.1	Dispositiomenetelmä.....	4
2.1.1	Universaalit hyveet .....	5
2.1.2	Dispositio .....	5
2.1.3	Kokonaisvaltainen kehitysmalli .....	7
2.1.4	Tuotekehitysprosessin tasot .....	10
2.1.5	Dispositionaalinen mekanismi .....	10
2.2	DFX – Suunnittelu tietyn ominaisuuden kannalta .....	12
3.	RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN LAINSÄÄDÄNTÖ.....	14
3.1	ATEX laitedirektiivi 94/9/EY .....	15
3.1.1	Olellaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset.....	16
3.1.2	Ryhmän I laitteet .....	16
3.1.3	Ryhmän II laitteet.....	17
3.2	Standardi EN 13463-1 – Räjähdyksivaarallisiin tiloihin tarkoitettujen mekaanisten laitteiden vaatimukset .....	17
3.2.1	Syttymislähde.....	18
3.2.2	Kuumat pinnat.....	19
3.2.3	Mekaaniset kipinät .....	20
3.2.4	Staattinen sähkö .....	21
3.2.5	Muut syttymislähteet.....	22
3.2.6	Muut rajoitukset .....	23
3.2.7	Laitteen mekaaninen kestävyys .....	23
3.3	Standardi EN 13463-5 – Rakenteellinen suojaus ”c” .....	24
3.4	Standardi EN 1710 – Kaivosten räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet ja komponentit .....	25
4.	HPW PERHEEN TUOTTEET .....	26
4.1	HPW- Hydrauliset korkeapainevesipumput.....	27
4.1.1	Alumiinirunkoiset pumput .....	30
4.1.2	Teräsrunkoiset pumput.....	31
4.1.3	Alumiinipronssirunkoiset pumput.....	32
4.1.4	Ruostumattomasta teräksestä valmistetut pumput .....	33
4.2	HDF- Hydrauliset poranestepumput .....	34
5.	DISPOSITIOMENETELMÄN SOVELTAMINEN ATEX LAITTEIDEN SUUNNITTELUSSA.....	36
5.1	Vaatimukset mekaanisille laitteille .....	36
5.1.1	Vaatimusten aiheuttamat muutokset laitteille .....	39

5.1.2	Muutosten aiheuttamat dispositiot .....	45
5.2	Mekaanisten laitteiden ominaisuuksien parantaminen.....	48
5.2.1	Tehdyt muutokset tuotteen ominaisuuksien parantamiseksi.....	48
5.2.2	Parannusten aiheuttamat dispositiot.....	49
6.	TULOSTEN ARVIOINTI .....	51
7.	YHTEENVETO .....	55
	LÄHTEET.....	58

LIITE A: TESTI 10% YLINOPEUDELLA

LIITE B: TESTI VAPAAKIERTOVENTTIILI AUKI ASENNOSSA

LIITE C: ISKUNKESTÄVYYSTESTI

LIITE D: KUIVA-AJOTESTI HPW200/30-45

LIITE E: KUIVA-AJOTESTI HPW420/20-50

LIITE F: TULENKESTÄVYYSTESTI

## KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Yleinen dispositiomalli [6, s. 52].</i>	6
<i>Kuva 2. Tuotteen elinkaari [6, s. 56].</i>	8
<i>Kuva 3. Pistemalli [6, s. 59].</i>	9
<i>Kuva 4. Dispositionaalinen mekanismi [6, s. 87].</i>	11
<i>Kuva 5. Dispositionaalinen mekanismi tuotekehitysprosessissa [6, s. 88].</i>	12
<i>Kuva 6. ATEX tilaluokitukset [9].</i>	14
<i>Kuva 7. Syttymislähteen vaikutusten arviointi [2, s. 14].</i>	19
<i>Kuva 8. HPW pumpun toimintaperiaate [17, s. 20].</i>	26
<i>Kuva 9. HPW200/30-45 korkeapainevesipumppu [18].</i>	27
<i>Kuva 10. Rakennokuva HPW200/30-45 korkeapainevesipumpusta [19, s. 2].</i>	29
<i>Kuva 11. Alumiinisista osista valmistettu HPW180/90-115 [18].</i>	30
<i>Kuva 12. HPW90/150-85 korkeapainevesipumppu [18].</i>	31
<i>Kuva 13. Alumiinipronssista valmistettu korkeapainevesipumppu [18].</i>	32
<i>Kuva 14. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu HPW520/30-85 [18].</i>	33
<i>Kuva 15. HDF40/40-8 porausnestepumppu [18].</i>	35
<i>Kuva 16. HPW800/30-140 [18].</i>	39
<i>Kuva 17. Dynaset Oy:n suurin vesipumppu, HPW300/300-350 [18].</i>	43
<i>Kuva 18. ATEX tyyppikilpi.</i>	46

## TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Ryhmän IIG laitteiden lämpötilaluokat [2, s. 28].</i>	20
<i>Taulukko 2. Ryhmän II laitteiden sähköä johtamattomien osien pinta-ala rajoitukset [2, s. 40].</i>	22
<i>Taulukko 3. Iskuenergian arvot laitteen eri osille [2, s. 50].</i>	23
<i>Taulukko 4. HPW pumppujen perusmallien luettelo [17, s. 22].</i>	28
<i>Taulukko 5. HDF pumppujen luettelo [17, s. 31].</i>	34



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATEX	ransk. Atmosphères Explosibles, räjähdysvaarallinen tila
DNV GL	norj. Det Norske Veritas
DFC	engl. Design for Cost, suunnittelu kustannusten näkökulmasta
DFMA	engl. Design for Manufacture and Assembly, suunnittelu valmistuksen ja kokoonpanon kannalta
DFQ	engl. Design for Quality, suunnittelu laatu näkökulmasta
DFX	engl. Design for X, suunnittelumenetelmä, jossa keskitytään tiettyyn muuttujaan tai toimintoon kuten laatu, kustannukset tai valmistus
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä
HDF	Hydrauliporanestepumppu
HPW	Hydraulikorkeapainevesipumppu
HST	Haponkestävä teräs
PDM	Tuotetiedon hallinta
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta
RST	Ruostumaton teräs

# 1. JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee tuotekehitysprosessia, jonka päämääränä on kehittää Dynaset Oy:lle korkeapainevesipumppujen tuoteperhe, joka täyttää räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset. Nämä vaatimukset tulevat EU:n laatumasta ATEX (ransk. Atmosphères Explosibles) direktiivistä. Direktiivin täyttämiseksi on laadittu yhdenmukaistettuja standardeja, jotka määrittävät laitteiden ominaisuudet ja turvallisuuden vastaamaan direktiivin vaatimuksia.

Dynaset Oy on hydraulikka-alan yritys, joka valmistaa hydraulisesti toimivia laitteita. Dynasetin tuotevalikoimaan kuuluvat hydrauligeneraattorit, -korkeapainevesipumput, -poraustestepumput, -kompressorit, hydraulisesti toimivat magneetit sekä hydrauliset hitsausgeneraattorit. Dynasetin tuotteita käytetään enimmäkseen liikkuvissa työkonereissa sekä teollisuuden prosesseissa. Dynaset myy hydraulisesti toimivia laitteita, hydraulikomponentteja sekä kokonaisia hydraulijärjestelmiä. Dynasetin tunnetuin tuote on hydraulisesti toimiva korkeapainevesipumppu. [1]

Dynaset Oy työllistää noin 60 henkilöä, jotka kaikki työskentelevät Dynasetin tehtaalla Ylöjärvellä. Henkilöstöstä toimihenkilöitä on noin 30 ja loput työskentelevät tuotannossa. Dynaset Oy on vuonna 1986 perustettu perheyritys. Sen ensimmäiset hydraulisesti toimivat laitteet lanseerattiin vuonna 1988. Ensimmäisenä laitteena myyntiin tuli hydraulikorkeapainevesipumppu (HPW). [1]

## 1.1 Työn tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on laajentaa Dynasetin korkeapainevesipumppujen tuoteperhettä kattamaan myös räjähdysvaarallisiin tiloihin hyväksytyt laitteet. Tuotekehitysprosessissa tuotevalikoiman laajentamiseen käytetään hyväksi dispositiomenetelmää. Räjähdysvaaralliseen tilaan soveltuvat korkeapainevesipumput pyritään kehittämään mahdollisimman kustannustehokkaasti perusmallien pohjalta. Hyödyntämällä tunnettua teknologiaa ja olemassa olevia komponentteja saadaan tuotantoprosessi mahdollisimman tehokkaaksi ja joustavaksi.

Työn tuloksena pyritään saamaan mahdollisimman laaja korkeapainevesipumppu valikoiman käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Pumpuille haetaan ATEX-hyväksyntää kaivossovelluksiin laiteluokkaan M2 sekä teollisuuteen laiteluokkaan 2. Kaivosympäristössä laitteita voidaan käyttää työskentelyyn, kun välitöntä räjähdysvaaraa ei ole. Räjähdysvaaran esiintyessä kaivoksissa laiteluokan M2 laitteet sammutetaan ja odotetaan, kunnes vaara on ohi, jolloin voidaan taas jatkaa työskentelyä. Teollisuudessa räjähdysvaaralliset tilat on jaettu 3 tilaan, joissa voidaan käyttää vain kyseiseen tilaan tai luokituksestaan

vaativampaan tilaan hyväksyttyä laitetta. Laiteluokan 2 laitteita käytetään tiloissa, joissa räjähdysvaarallista höyry-, kaasui- tai pölyseosta esiintyy todennäköisesti. [2, s. 12]

## 1.2 Ongelman asettelu ja tutkimuskysymykset

Tässä diplomityössä käsiteltävänä tutkimusongelmana on mekaanisten laitteiden suunnittelu räjähdysvaaralliseen tilaan. Räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuville korkeapainevesipumpuille on kysyntä ja kiinnostus kasvanut selvästi, mutta Dynaset Oy:llä ei ole tuotteita näille markkinoille. Laitteiden myyminen ATEX-tiloihin vaatii sertifiikaatin, joka osoittaa laitteen soveltuvuuden räjähdysvaarallisiin tiloihin. Kysyntään vastatakseen Dynaset Oy:n pitää suunnitella ATEX-direktiivin vaatimukset täyttävä tuoteperhe, jotka saavutetaan noudattamalla yhdenmukaistettujen standardien vaatimuksia.

Tutkimusongelman ratkaisemiseksi määritetään tutkimuskysymykset, joita ovat:

- Mitkä Dynaset Oy:n tuotteet ovat mahdollisia saada hyväksytyiksi räjähdysvaaralliseen tilaan?
- Mitä muutoksia standardituotteet vaativat täyttääkseen ATEX-hyväksynnän vaatimukset?
- Miten uuden tuoteperheen suunnittelu vaikuttaa yrityksen muihin toimintoihin?

Tutkimuskysymysten avulla pyritään määrittämään yritystä mahdollisimman hyvin palveleva toteutustapa tutkimusongelman ratkaisemiseksi.

## 1.3 Työn rakenne ja rajaus

Tämä työ on jaettu seitsemään päälukuun, joissa käsitellään työn taustalla olevaa teoriaa, kansainvälisiä standardeja, EU:n direktiivejä, laitteiden ominaisuuksia, tuotekehitysprosessiä valitun teorian pohjalta, tulosten arviointi ja yhteenveto. Johdannossa esitellään työtä sekä määritetään tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset. Toisessa kappaleessa esitellään tutkimusmenetelmät sekä dispositiomenetelmän teoriaa tarkemmin, jotta ymmärretään paremmin tuotekehitysprosessin tavoitteet ja toteutus.

Kolmannessa luvussa käsitellään tarkemmin räjähdysvaarallisiin laitteisiin liittyvä lainsäädäntö. Tämä luku jakautuu EU:n laitedirektiivin käsittelyyn sekä Suomen Standardisoimisliiton määrittämien standardien EN 13463-1, EN 13463-5 ja EN 1710 työn kannalta olennaisten kohtien käsittelyyn.

Neljännessä luvussa kuvataan Dynaset Oy:n tuotevalikoimaa ja perehdytään syvemmin laitteiden ominaisuuksiin, osiin ja valmistusmateriaaleihin. Laitteet on jaoteltu alakappaleisiin laitteissa käytettävien päämateriaalien mukaan.

Seuraavassa luvussa kuvataan tuotekehitysprosessin eteneminen lainsäädännön asettamien reunaehtojen ja teoreettisen menetelmän pohjalta. Tuotekehitysprosessi on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäisenä tutkitaan lainsäädännön vaikutusta tuotekehitykseen ja toisessa alaluvussa käsitellään tuotteiden ominaisuuksia valitun tuotekehitysmenetelmän mukaisesti. Lopuksi tutkitaan vielä tehtyjen valintojen keskinäisiä vaikutuksia dispositiomenetelmän pohjalta.

Kuudennessa luvussa arvioidaan tehdyn tuotekehitysprosessin tuloksia verrattuna lainsäädäntöön sekä asetettuihin tavoitteisiin. Lopuksi arvioidaan tuotekehitysprosessin onnistumista, kootaan yhteenveto työn tuloksista ja esitetään ehdotuksia uusien tuotteiden ATEX-hyväksynnöistä.

Työ rajataan käsittelemään ainoastaan hydraulikorkeapainevesipumppuja sekä hydrauliporausnestepumppuja, koska nämä tuotteet ovat samankaltaisia keskenään. Tämän työn ulkopuolelle jätetään hydrauligeneraattorit, hydrauliset paineilmakompressorit, hydrauliset paineenkohottimet, hydraulinytkysylinteri sekä hydraulitärylaitteet. Rajausta on valittu siten, että kokonaisuudesta saadaan mahdollisimman yhtenäinen ja työn laajuus ei kasva liian suureksi.

## 2. TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Tämän diplomityön teoreettinen tausta koostuu yrityksen nykyisistä tuotteista, ATEX-direktiivin määrittämistä standardeista sekä työssä käytettävistä tutkimusmenetelmistä. Nykyiset tuotteet ja standardit määrittelevät työlle reunaehdot, joiden sisällä toteutetun ratkaisun tulee olla. Toteutetun ratkaisun tulee tuottaa yritykselle lisäarvoa suhteessa käytettyihin resursseihin, tällöin myös kustannustehokkuutta tulee huomioida työssä.

Tässä työssä käytetään tutkimusmenetelminä kokeellista tutkimusta sekä kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta [3]. Kokeellista tutkimusta hyödynnetään ATEX-direktiivin vaatimien hyväksymistestien suorittamisessa, jossa selvitetään satunnaisotoksella valittujen tuotteiden ominaisuuksia [4]. Tutkimuksessa käytetään laadullista tutkimusstrategiaa tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Työn aineisto on koostettu valmiista dokumenteista, joita ovat direktiivit, standardit sekä osa laitteiden valmistusdokumenteista. Lisäksi työhön on tuotettu useita dokumentteja, kuten puuttuvat valmistusdokumentit ja testausraportit. [5]

### 2.1 Dispositiomenetelmä

Jesper Olesen esitteli dispositiomenetelmän ensimmäisen kerran vuonna 1992 väitöskirjassaan. Menetelmä pyrkii auttamaan suunnittelijaa samanaikaisessa suunnittelussa, jossa tuotteen parametrien muutosten vaikutuksia arvioidaan elinkaaren eri vaiheisiin. Teorian avulla suunnittelija huomioi valintojensa vaikutuksen tuotteen elinkaaren eri aikoina ja pyrkii täten valitsemaan sellaiset parametrit, jotka tuottavat optimaalisen tuloksen tuotteen valmistuksessa ja käytössä. Tuotteen arvoa määritetään universaalien hyveiden avulla, jolloin paras yhdistelmä hyveitä muodostaa tuotteelle suurimman kokonaisyhyödyn. Tuotteeseen vaikuttavia suhteita eli dispositioita arvioidaan neljällä eri tuotekehityksen tasolla, joita ovat tuotevalikoima-, konsepti-, rakenne- ja komponenttitaso [6, s. 83]. Dispositiomenetelmää voidaan hyödyntää tehostamaan ”Design for X” menetelmiä, kuten Design for Cost tai Design for Quality [7, s. 341–342].

Tuotteen suunnitteluvaiheessa tehdyillä päätöksillä voi olla huomattavia vaikutuksia tuotteeseen sen kokoelinkaaren aikana. Osa vaikutuksista on helposti havaittavissa, kuten materiaalien valinnan vaikutus valmistuskustannuksiin. Toisten valintojen vaikutukset saattavat esiintyä vasta myöhemmissä vaiheissa tuotteen elinkaarta ja ovat siitä syystä vaikeammin havaittavissa suunnitteluvaiheessa. Valintojen vaikutus voidaan havaita esimerkiksi tuotteen ollessa loppukäyttäjällä käytössä tai vasta hävitettäessä käytettyä tuotetta. Dispositiomenetelmän avulla pyritään huomioimaan nämä tekijät mahdollisimman tarkkaan, jotta tuotteen elinkaaren aikana ei syntyisi ylimääräisiä kustannuksia ja toisaalta laitteen arvo käyttäjälleen olisi mahdollisimman suuri.

### 2.1.1 Universaalit hyveet

Dispositiomenetelmän avulla pyritään vaikuttamaan tuotteen hyviin ominaisuuksiin tuotekehitysprosessissa. Näitä tavoiteltavia arvoja kutsutaan universaaleiksi hyveiksi. Universaalit hyveet ovat yleiskäyttöisiä mitattavissa olevia arvoja, jotka voidaan määrittää tuotekehitysprosessin aikana. Tuotteiden paremmuutta voidaan arvioida hyveiden avulla, kun arvioidaan tuotetta jokaisen hyveen kannalta esimerkiksi asteikolla ykkösestä kymmeneen. Laskemalla kaikkien hyveiden arvosanat yhteen saadaan määritettyä tuotteen kokonaishyvyys ja valitsemalla eri tuotekehitysvaihtoehtoja pyritään löytämään kokonaisuuden kannalta paras yhdistelmä. Olesenin määritelmän mukaan universaaleja hyveitä ovat:

- Kustannukset
- läpimenoaika
- laatu
- tehokkuus
- joustavuus
- riski
- ympäristö. [6, s. 41]

Myös muita tuotteen ominaisuuksia voidaan löytää, mutta nämä ovat määritettävissä yllä olevien ominaisuuksien avulla tai kyseisiä ominaisuuksia ei ole mahdollista hallita tuotekehitysprosessissa. Tuotekehityksen kannalta hallitsemattomia ominaisuuksia ovat esimerkiksi imago tai trendit.

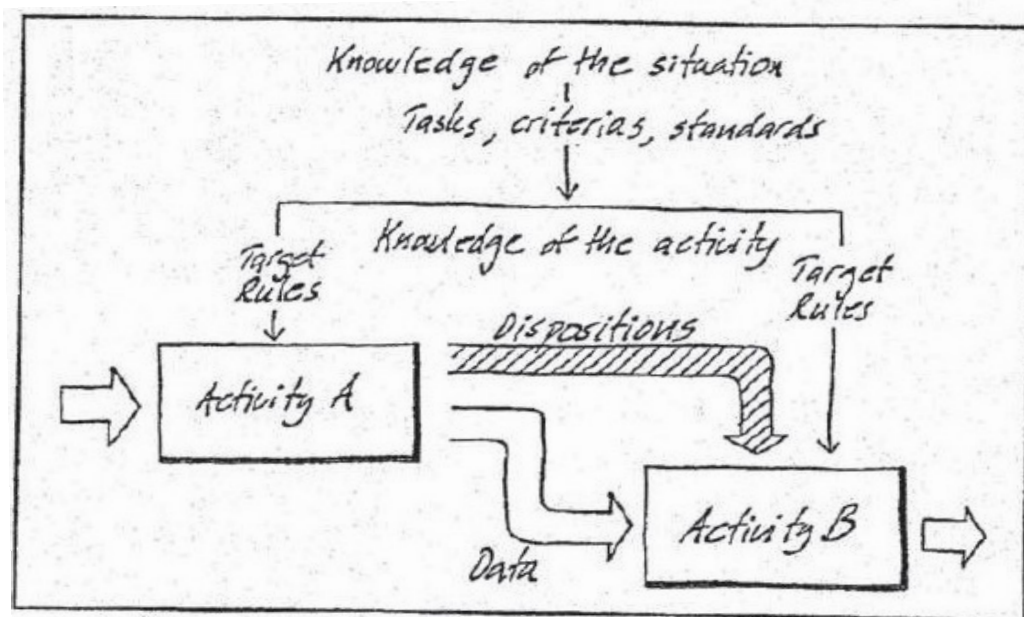
Universaaleja hyveitä ei yleisesti voida suoraan nähdä, vaan ne tulee jakaa sopiviin toiminnallisiin osiin ja arvioida palasien avulla vaikutusta kokonaisuuteen. Hyveitä voidaan painottaa eri tavoin, riippuen tilanteesta ja tuotekehitysprojeektista. Yleisesti projekteissa ei voida keskittyä kaikkiin hyveisiin, koska osa hyveistä on osittain toisiaan pois sulkevia, kuten kustannukset ja laatu. Yleisesti valitaan yritykselle tärkeät hyveet ja pyritään panostamaan yhteen tai kahteen hyveiden osa-alueeseen. Kuitenkin kaikki hyveet tulee arvioida ja huomioida prosessissa, mutta vain osaan voidaan keskittyä saavuttaakseen kilpailuetua muihin toimijoihin nähden. [6, s. 41]

### 2.1.2 Dispositio

Perinteisissä tuotekehitysmenetelmissä ongelmaa lähestytään tyypillisesti useissa systemaattisissa vaiheissa, joissa käsitellään konseptia, suunnittelua, valmistusta ja jakelua erikseen. Tällöin keskitytään vain käsiteltävään alueeseen ja muiden alueiden ominaisuudet otetaan mahdollisesti huomioon ainoastaan alkutiedoissa. Yrityksissä on havaittu perinteisen tuotekehitysmenetelmän olevan riittämätön nykytarpeisiin ja tämän vuoksi on esiintynyt tarvetta tuotekehitysmenetelmälle, joka huomioi kaikki tuotekehitykseen liittyvät asiat samanaikaisesti. [6, s. 23] Tätä käsitettä kutsutaan integroiduksi kehitykseksi

(Integrated development) tai samanaikaiseksi kehitykseksi (Concurrent development). Integroitu tuotekehitysmenetelmä pohjautuu ajatukseen, jossa tuotetta ja tuotantomenetelmää kehitetään samanaikaisesti sekä pyritään löytämään toiminnallisten alueiden väliset relaatiot, joita ei perinteisin menetelmin pystytä huomioimaan. [6, s. 43] Toiminnallisella alueella tarkoitetaan organisaation osaa, joka on vastuussa kyseisestä tuotannon alueen toiminnasta kuten varasto tai tuotanto [6, s. 53].

Integroinnilla pyritään huomioimaan valinnat, joiden vaikutukset ylittävät toiminnalliset alueet, joista valinnan tekijällä ei ole vastuuta. Aikaisessa vaiheessa tuotekehitystä löydetty toiminnalliset alueet ylittävät parametrit tehostavat tuotekehityksen vaikutuksia. Integraation vaikutukset eivät johdu pelkästään suuremmasta tietomäärästä, vaan tietyn tyyppisestä tiedosta, joka mahdollistaa integraation. Integraation hyödyt nähdään, kun parametrien valinnat hyödynnetään suunnitellulla alueella. Lisäksi tarvitaan näkemys parametrien vaikutuksista eri toiminnallisiin alueisiin, jotta löydetään oikeat relaatiot parametrien ja toiminnallisten alueiden välillä. [6, s. 51–52]



**Kuva 1. Yleinen dispositiomalli [6, s. 52].**

Dispositio kuvaa suunnittelijan päätöstä laitteen suunnittelussa, joka vaikuttaa laitteen rakenteeseen sekä tuotteeseen liittyvien toimintojen tehokkuuteen sen elinkaaren aikana [7, s. 341]. Disposition yleinen malli on esitetty kuvassa 1, josta nähdään tuotekehityksessä tehdyn valinnan aiheuttamat vaikutukset. Nämä vaikutukset jakautuvat kahteen osaan, tietoon ja dispositioon. Tieto osa sisältää esimerkiksi tietoa kappaleen muodosta ja materiaalista. Yleensä se esitetään kappaleen piirustuksena. Dispositio osa kuvaa toiminnan vaikutusta muihin toiminnallisiin alueisiin, esimerkiksi asennuksen helpottamista vähentämällä yhteen liitettävien osien määrää. Valinnan tarkoituksena voi olla esimerkiksi

asennuskustannuksien pienentäminen ja läpimenoajan lyheneminen. Tämä vaatii kuitenkin tietoa ja näkemystä kyseiseltä toiminnalliselta alueelta. [6, s. 53]

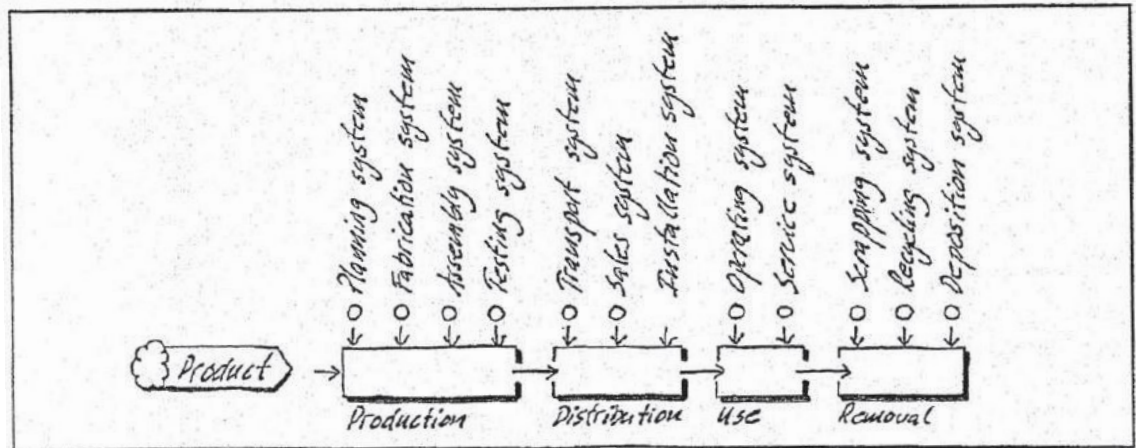
Yleinen dispositiomalli esittää disposition läsnäoloa jokaisessa tehdyssä päätöksessä. Dispositio voi joissakin tapauksissa kulkea myös B:stä A:han. Esimerkiksi työstökoneen työalueen koko voi rajoittaa kappaleen äärimitat, jottei yrityksen tarvitse ostaa uutta työstökoneita kyseisen osan valmistamiseksi. Valinnalla voi myös olla dispositioita useille toiminnallisille alueille. Yhdistelemällä kaikki tuotekehitykseen liittyvät yksittäiset dispositiot, voidaan muodostaa kokonaiskuva tuotteeseen vaikuttavista dispositioista. Dispositio sisältää tarvittavat parametriasetukset tai valinnat parametreista määrättyllä alueella, eli mitkä tuotteen parametreista tulee näkyviksi. Tieto osa muodostaa lähtötiedot muille toiminnoille. Tieto osa voi olla teknisesti oikein, mutta virheellinen suhteessa tuotantomenetelmään nähden. Tämä voidaan havaita, kun tuotteeseen vaikuttavat dispositiot on saatu selville. [6, s. 53–54]

Dispositioiden hyöty saadaan aikaiseksi tekemällä tietoisia valintoja. Dispositio-osa siirtää toiminnallisiin alueisiin liittyviä parametreja ja tieto-osa tuottaa lähtötietoja toisille toiminnallisille alueille. Parametrien väliset suhteet voivat muokata tarkoitettua prosessia. Tällöin voidaan arvioida valintojen aiheuttamia seurauksia suhteessa tavoitteisiin. Tämän johdosta suunnittelijan täytyy huomioida myös dispositiot muiden toiminnallisten alueiden välillä oman vastualueensa lisäksi. Suunnittelijan tulee hyödyntää suunnittelussaan oikeita dispositioita, jolloin hänen on osattava valita tarpeelliset ja hyödylliset dispositiot ja erotella ne merkityksettömistä. Dispositioiden hallinta ei tarkoita niiden välttämistä, vaan paremminkin pyritään hyödyntämään dispositioita saavuttaakseen halutun lopputuloksen. Dispositiot noudattavat luonnonlakeja, joten ne ovat aina olemassa riippumatta siitä, ollaanko niistä tietoisia tai ei. [6, s. 54–56]

### 2.1.3 Kokonaisvaltainen kehitysmalli

Kokonaisvaltaisessa kehitysmallissa (Total development model) otetaan huomioon tuotteen koko elinkaari aina ideasta hävittämiseen asti, jolloin dispositioita voidaan havaita myös pidemmälle tuotteen elinkaaressa. Selvitettäessä kaikkia tuotteeseen liittyviä järjestelmiä, täytyy huomioida kaikki osa-alueet tuotteen elinkaaren alusta loppuun asti. [6, s. 56] Tuotteen elinkaaren eri vaiheet on esitetty kuvassa 2. Tuotteen elinkaari on jaettu 4 osaan, jotka ovat valmistus, jakelu, käyttö ja hävittäminen. Näihin jokaiseen osaan kuuluu useita eri järjestelmiä, jotka tulee ottaa huomioon dispositiomallia rakennettaessa.

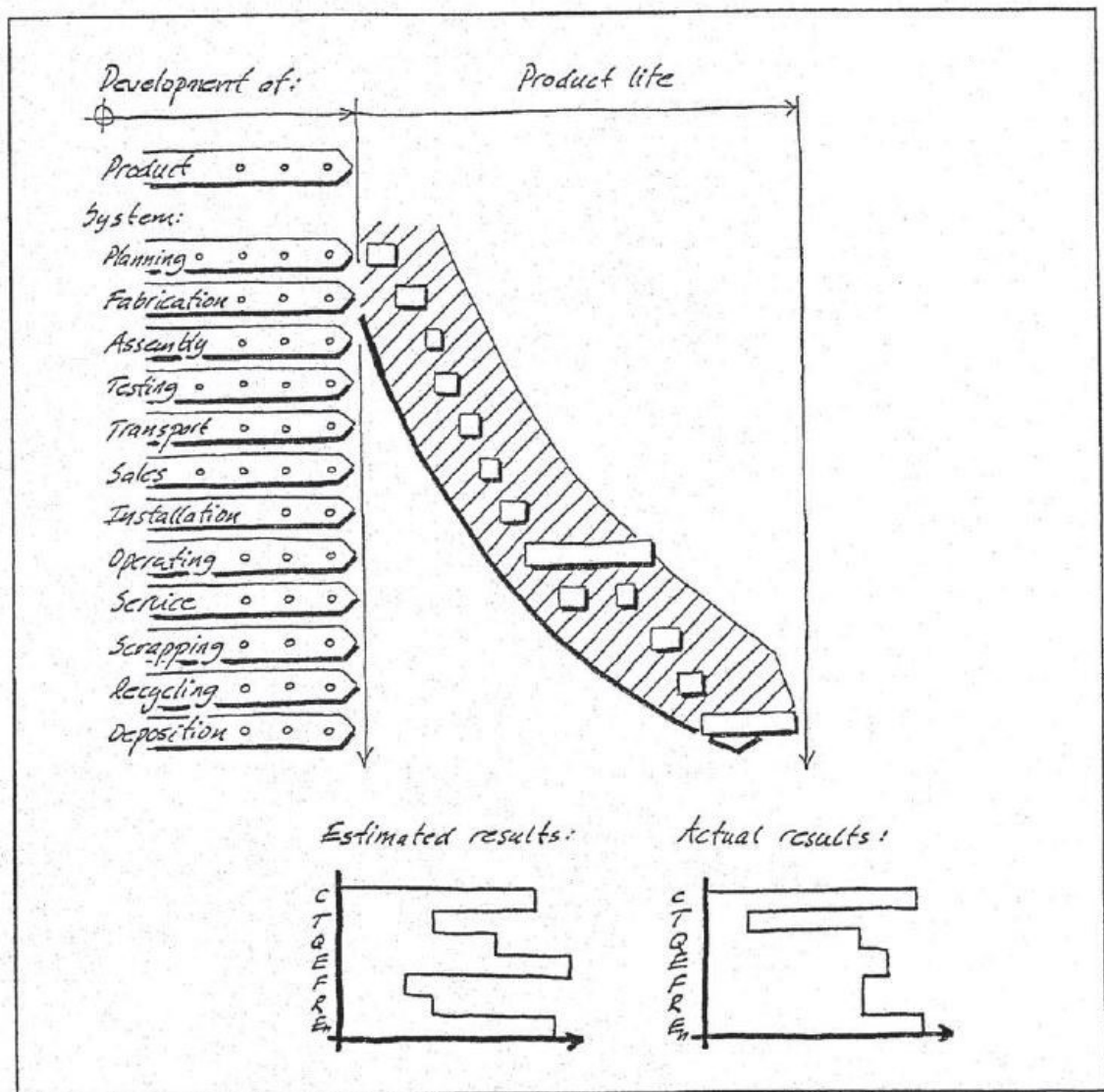




**Kuva 2. Tuotteen elinkaari [6, s. 56].**

Dispositiomalliin on mahdollista muodostaa parametrien väliset suhteet tuotteen suunnittelusta tuotannon suunnitteluun ja aina tuotteen hävittämiseen asti. Lisäksi Olesen kehitti pistemallin, jonka avulla voidaan selvittää toiminnallisiin alueisiin kohdistuvat dispositiot, jotka syntyvät tuotetta suunnitellessa [6, s. 57].

Kuvassa 3 oleva pistemalli sisältää tuotteen tuotekehitys prosessin sekä kaikki tuotantoon liittyvät järjestelmät [6, s. 57]. Tämä malli kuvaa kaikki alueet, joihin dispositiot kohdistuvat tuotekehityksessä. Mallissa leveillä nuolilla kuvataan tuotekehitykseen liittyviä toiminnallisia alueita. Dispositioiden mallintamisella pyritään arvioimaan tuotteen ominaisuuksia aikaisessa vaiheessa tuotekehitystä. Alussa tehdyt arviot ovat tärkeitä, koska tuotteen laatu ja suuri osa kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tehtyjen valintojen kerrannaisvaikutukset saattavat näkyä vasta paljon myöhemmin tuotteen elinkaaren aikana, jolloin niiden aiheuttamiin vaikutuksiin on vaikea reagoida.



**Kuva 3. Pistemalli [6, s. 59].**

Pistemalliin voidaan lisätä myös kuvaaja universaaleista hyveistä, jossa kuvataan tehtyjen valintojen vaikutusta hyveisiin. Mallissa universaalit hyveet on kuvattu kuvan alareunassa kahdessa kuvaajassa, joista toisessa on arvioitu tulos ja toisessa toteutunut. Arvioitu tulos muodostuu tuotekehityksen aikana tehtyjen valintojen pohjalta ja toteutunut tulos mitataan tuotteen valmistuksen ja elinkaaren aikana. [6, s. 58] Mallissa kuvataan esimerkiksi, kuinka kuljetustapa ja pakkaus vaikuttavat tuotteen kokonaiskustannukseen, laatuun ja ympäristön vaikutuksiin. Jokainen päätös tuotekehityksessä heijastaa vaikutuksensa universaaleihin hyveisiin.

Dispositioiden vaikutuksia tutkitaan universaaleihin hyveisiin nähden tuotekehitysprosessin aikana. Niiden vaikutusta hyveisiin tulee arvioida koko tuotteen elinkaaren ajalta valintoja tehdessä. Dispositiot selvittämällä voidaan aikaisessa vaiheessa tuotekehitystä

nähdä päätöksen vaikutukset tuotteen ominaisuuksiin sen eri elämänvaiheissa. Vaikutusten arvioimiseksi tarvitaan tiedot tuotteen määrittävistä parametreista. Dispositioiden vaikutuksia arvioidakseen, täytyy parametrien väliset relaatiot tunnistaa. [6, s. 58–59]

### **2.1.4 Tuotekehitysprosessin tasot**

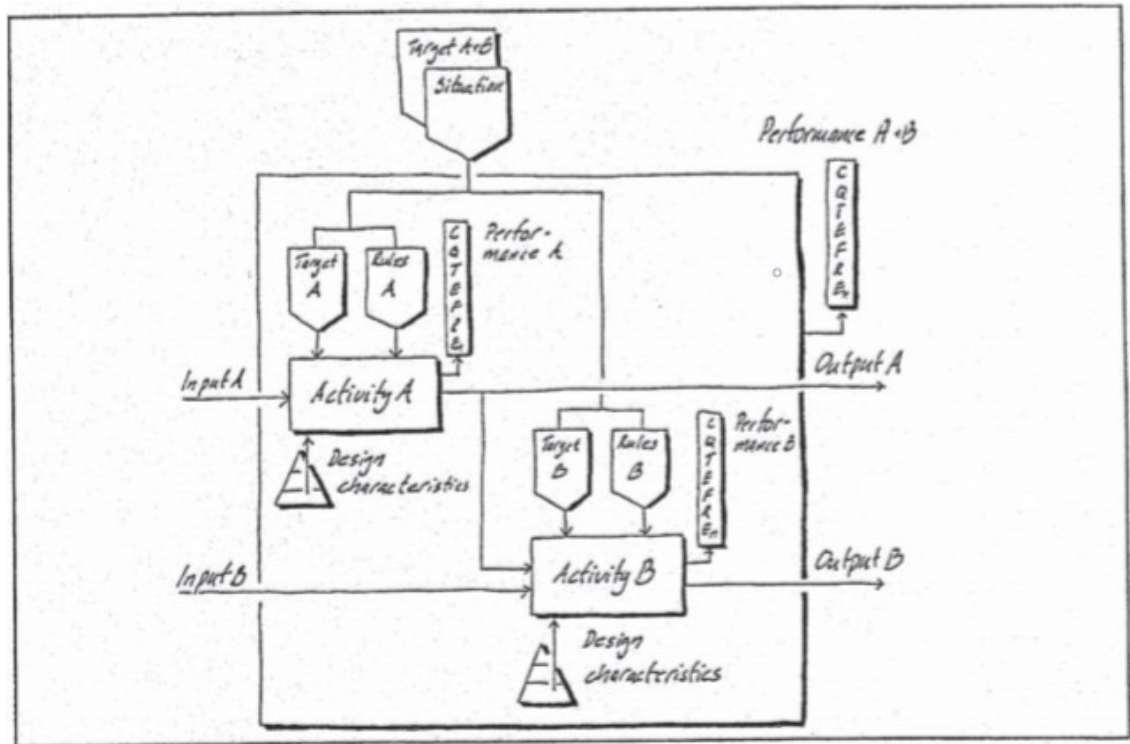
Tuotekehitysprosessi voidaan jakaa neljälle eri tasolle, joita ovat tuotevalikoima-, konsepti-, rakenne- sekä komponentti taso. Samanaikaisessa tuotekehitysprosessissa suoritetaan kaikkien neljän tason tuotekehitys samanaikaisesti. Jokaisella tasolla on omat ominaisuudet ja suunnitteluparametrit, jotka kuvaavat tuotteiden ja tasojen välisiä relaatioita. Samanaikaisesti suunniteltaessa eri tasojen kehitykset limittyvät toistensa kanssa ja muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. [6, s. 83]

Tuotevalikoima koostuu yrityksen sisäisten tuotantosysteemien, tuotevarianttien ja tuoteperheiden muodostamasta kokonaisuudesta. Konseptitason suunnittelu kuvaa yksittäisen tuotteen tai tuotantojärjestelmän prosessia sekä sen toimintaa. Rakennetason suunnittelussa keskitytään tuotteen tai tuotantojärjestelmän tekniseen rakenteeseen. Komponentti-tasolla suunnitellaan osien ja tuotantojärjestelmien yksityiskohdat. [6, s. 83]

Tuotteen kokoonpantavuuteen (Design for Assembly) ja valmistukseen (Design for Production) keskittyvissä tuotekehitysprosesseissa on mahdollista määrittää hyödyllisten parametrien väliset suhteet ja liittää ne yleiseen malliin, jolloin saadaan määritettyä niihin kohdistuvat relaatiot ja mitä dispositionaalisia vaikutuksia ne tuottavat. Näiden relaatioiden avulla pystytään linkittämään tuotteen ja valmistamisen väliset vaikutussuhteet. Tällöin voidaan tunnistaa kaikilla neljällä tasolla syntyvät suunnitteluominaisuudet tuotteelle, tuotantojärjestelmälle, tuotannon suunnittelulle sekä valvontajärjestelmälle, joilla on vaikutusta tuotteen universaaleihin hyveisiin. [6, s. 85]

### **2.1.5 Dispositionaalinen mekanismi**

Dispositionaalinen mekanismi on teoreettinen menetelmä, jolla pyritään kokeilemaan suunnittelussa valittujen suunnitteluparametrien vaikutusta konsepti- ja rakennetasoilla. Näin saadaan paljastettua näiden toiminnallisten alueiden väliset dispositiot. Dispositionaalinen mekanismi on esitetty kuvassa 4.

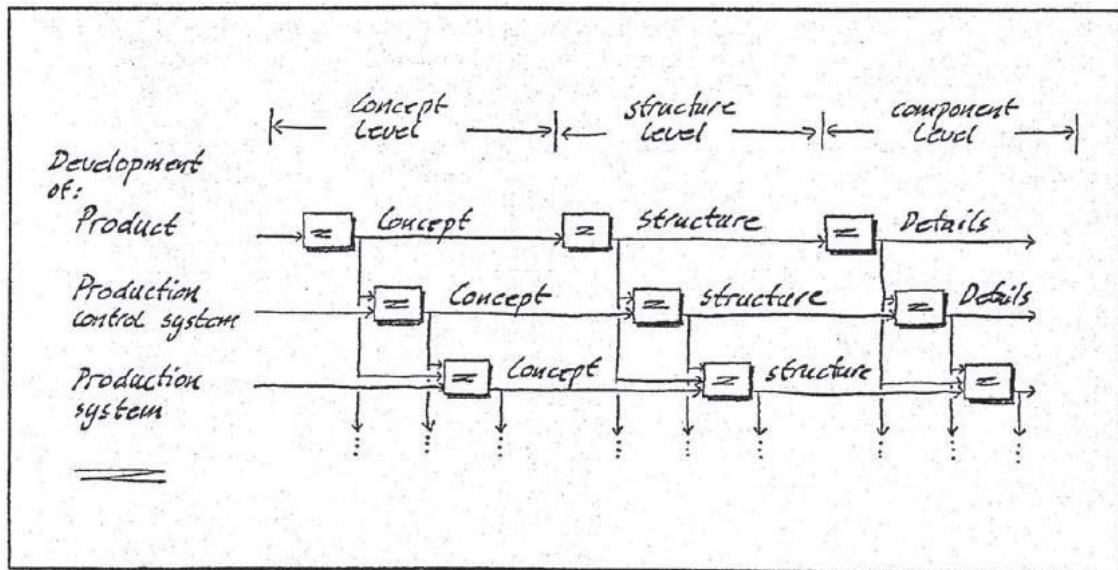


**Kuva 4. Dispositionaalinen mekanismi [6, s. 87].**

Kuvassa 4 esitetään kahden suunnittelutavoitteen A ja B muodostamaa kokonaisuutta. Molemmille toimintoille on omat lähtötiedot sekä suunnitteluparametrit. Lisäksi toiminnon A lopputulos aiheuttaa disposition toimintoon B, joka tulee ottaa huomioon suunnitella toimintoa B. Näiden molempien toimintojen yhteistä vaikutusta arvioidaan saavutettujen lopputulosten tuottamien hyveiden avulla. Dispositionaalinen mekanismi sisältää:

- Kaksi kehittämistoimintoa eri funktionaalisilta tasoilta, joissa määritellään konsepti, rakenne tai yksityiskohdat
  - Tiedot ja dispositiot toimintojen välillä
  - Tavoitteet molemmille toimintoille
  - Säännöt, kuinka päätösten avulla voidaan saavuttaa asetetut tavoitteet
  - Mahdolliset suunnitteluparametrien vaihtoehdot
  - Laskelmat dispositionaalisesta vaikutuksesta valituilla suunnitteluparametreilla.
- [6, s. 87–88]

Malli sisältää toimintoja tuotekehitysvaiheen kahdesta tai useammasta tasosta, sekä samalla tasolla olevista toiminnoista, kuten kuvasta 5 voidaan nähdä. Tavoitteet on määritetty tuotekehitystilanteen mukaan ja säännöt ohjaavat suunnitteluparametrien valintoja tavoitteiden saavuttamiseksi ja kohti haluttua dispositionaalista vaikutusta. [6, s. 88]



**Kuva 5. Dispositionaalinen mekanismi tuotekehitysprosessissa [6, s. 88].**

Dispositionaalisen mekanismin avulla on mahdollista analysoida tuotteen ominaisuuksia sekä poimia suunnitteluparametreja ja dispositionaalisia vaikutuksia, jotka seuraavat suunnitteluparametrien keskinäisistä suhteista. Tähän malliin voidaan lisätä sääntöjä tai rajoitteita rajaamaan mahdollisia valintoja suunnittelussa. Malliin voidaan asettaa esimerkiksi sääntöjä käytettävistä materiaaleista, asennustavasta tai -järjestyksestä. Dispositionaalisen mekanismin avulla voidaan tutkia suunnitteluprosessissa tehtyjen valintojen vaikutusta valituilla toiminnallisilla alueilla. Valintojen aiheuttamien dispositioiden vaikutuksia tuotteeseen mitataan universaalien hyveiden avulla. [6, s. 89–91]

## 2.2 DFX – Suunnittelu tietyn ominaisuuden kannalta

”Design for X”-menetelmällä kuvataan suunnittelumenetelmiä, joissa X korvataan yrityksen eri toiminnoilla. Suunnittelussa valitaan tietty toiminto, jota painotetaan tuotekehitysprojehtissa. Tällöin suunnittelu keskittyy tähän tiettyyn ominaisuuteen laitteen tuotekehityksessä ja muiden ominaisuuksien huomioiminen jätetään pienemmälle huomiolle. Tuotetta voidaan kehittää esimerkiksi tuotannon, kustannusten tai laadun näkökulmasta. Seuraavassa käydään lävitse yleisimpiä painotusalueita, joita DFX-menetelmällä käytetään.

DFMA (engl. Design for Manufacture and Assembly) suunnittelu valmistuksen ja asennuksen näkökulmasta kuvaa suunnitteluprosessia, jossa tuotekehityksen pääpaino on tuotannon kokoonpantavuudessa ja valmistuksessa. Tällöin tuotekehityksessä tulee miettiä komponenttien muodostamaa kokonaisuutta, jonka lisäksi tulee huomioida asennustyö. Komponenttien määrää vähentämällä tai vastaavasti kiinnitystavan muutoksella voidaan saavuttaa tuotannon ja valmistuksen kannalta huomattavia etuja. [7, s. 354–355]

DFC (engl. Design for Cost) suunnittelu kustannusten näkökulmasta suunnitellessa pyritään tuotteen kustannuksia vähentämään valmistuksessa, mutta myös koko tuotteen elinkaaren aikana. Kustannuksissa tulee komponenttien hankintahinnan lisäksi huomioida myös välilliset kustannukset tuotannosta ja muusta organisaatiosta, kuten varaston ja tuotannon tuotteeseen kohdistamat kustannukset. [7, s. 357]

DFQ (engl. Design for Quality) suunnittelu laadun ehdoilla on vahvasti kytketty tuotteen toiminnallisiin ominaisuuksiin, koska tuotteen laatu koostuu käyttäjän arvostuksesta tuotteen ominaisuuksiin. Laatu voidaan jaotella kahteen osaan, joista ensimmäinen on yrityksen näkökulma ja toinen asiakkaan näkökulma. Yrityksen näkökulmasta laatu voidaan jakaa isoon Q:hun ja pieneen q:hun, joista iso Q kuvastaa ulkoisten sidosryhmien vaatimuksia laitteesta ja pieni q kuvastaa sisäisiä tavoitteita ison Q:n saavuttamiseksi. Asiakkaiden näkökulmasta laatu voidaan jakaa kolmeen ominaisuuteen, joita ovat asema, odotukset ja pakolliset. Asema kuvastaa tuotteen paikkaa markkinoilla, odotukset syntyvät yrityksen mainonnan ja maineen perusteella tuotteen ostajalle. Pakolliset ominaisuudet ovat sellaisia joita asiakas odottaa löytävänsä, vaikkei niitä välttämättä asiakkaille ole luvattu. [7, s. 358–359]





Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet on jaettu ryhmiin I ja II. Ryhmän I laitteet on tarkoitettu maanalaisiin kaivoksiin, sekä kaivosten maanpäällisiin osiin, joissa räjähdysvaaran aiheuttaa metaanikaasu ja/tai kaivospöly. Ryhmän II laitteet ovat tarkoitettu käytettäväksi muissa räjähdysvaarallisissa tiloissa. [2, s. 18]

Ryhmän I laitteet on jaettu laiteluokkiin M1 ja M2. M1 luokan laite on turvallisuustasoltaan erittäin korkea ja luokan M2 laitteella on korkea turvallisuustaso. M1 luokan laitteet ovat tarkoitettu toimimaan yhtäjaksoisesti räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyessä, kun vastaavasti M2 luokan laite on tarkoitettu kytkeä energiattomaksi räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyessä. [2, s. 10–12]

Ryhmän II laitteet on jaettu laiteluokkiin 1, 2 ja 3 sen mukaan kuinka suurta turvallisuustasoa laitteelta vaaditaan. Laiteluokan 1 laite edustaa erittäin korkeaa turvallisuustasoa, laiteluokan 2 laite vastaavasti korkeaa turvallisuustasoa ja laiteluokan 3 laite on turvallisuustasoltaan normaali. [2, s. 12] Laiteluokan 1 laitetta voidaan käyttää tilaluokissa 0, 1, 2 sekä 20, 21 ja 22, kunhan laite täyttää kaasu- ja pölytilojen vaatimukset. Vastaavasti laiteluokan 2 laitetta voidaan käyttää tilaluokissa 1, 2 sekä 21 ja 22. Laiteluokan 3 laite soveltuu käytettäväksi ainoastaan tilaluokissa 2 ja 22, ottaen huomioon kaasu- ja pölytilojen vaatimukset. [9, s. 11]

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen Ex-laitteiden tulee täyttää EU:n asettama ATEX laitedirektiivi. ATEX laitedirektiivi määrittää tärkeimmät turvallisuus vaatimukset räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävillä laitteilla. Ex-laitteet jaetaan kahteen ryhmään, mekaanisiin ja sähköisiin laitteisiin, joille on asetettu eri vaatimukset. Sähköisille laitteille asetetut vaatimukset ovat tiukemmat kuin mekaanisille laitteille. ATEX laitedirektiivin vaatimukset voidaan täyttää yhdenmukaistettujen standardien avulla. Yhdenmukaistetut standardit on laadittu siten, että laitteen täyttäessä standardien asettamat vaatimukset myös ATEX laitedirektiivin vaatimukset täyttyvät. [9, s. 7] Sähkölaitteiden tulee täyttää standardisarjan EN 60079 vaatimukset ja mekaanisten laitteiden EN 13463 sarjan vaatimukset, jotta ATEX laitedirektiivin vaatimukset täyttyvät. Kaivoksissa käytettävillä laitteilla sovelletaan myös standardia EN 1710 sekä laiteluokan M1 laitteille standardia EN 50303:2001.[10] Lisäksi ATEX laitedirektiivin mukaiset dokumentaatiot on tehtävä ja vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely tulee täyttyä, jotta laite täyttää Ex-laitteen vaatimukset.

### 3.1 ATEX laitedirektiivi 94/9/EY

ATEX laitedirektiivi 94/9/EY on julkaistu Euroopan unionin virallisessa lehdessä. Direktiivi määrittelee Ex-laitteeseen liittyvät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Lisäksi direktiivi määrittää tarvittavan teknisen dokumentaation sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyn. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely riippuu laitteesta ja laiteluokasta.





itsesyttymislämpötilan alapuolella. Laite on suunniteltava siten, että mahdollisia syttymislähteitä sisältävät osat voidaan avata vain inaktiivisissa tai sisäisesti turvallisissa olosuhteissa. Jos inaktivointi ei ole mahdollista, on tästä varoitettava varoitusmerkinnän avulla. [11, s. 17–18]

Laiteluokan M2 laite on tarkoitettu kytkeä pois päältä, kun räjähdysvaarallinen ilmaseos esiintyy. Laite ei saa aiheuttaa syttymislähteitä normaalissa toiminnassa huomioiden myös ankarat toimintaolosuhteet ja kovasta käsittelystä aiheutuvat olosuhteet. Laitteen osien avaaminen, jotka saattavat olla syttymislähteitä, on mahdollista vain inaktiivisissa olosuhteissa tai sen avaaminen on estetty lisälukitusjärjestelmän avulla. Pölyltä suojautumisen osalta noudatetaan samoja ohjeita kuin laiteluokan M1 laitteilla. [11, s. 18]

### 3.1.3 Ryhmän II laitteet

Laiteluokan 1 laitteissa ei saa syntyä syttymislähteitä edes harvinaisten häiriöiden esiintyessä. Suojauskeinoin tulee säilyttää riittävä suojelun taso, kun yksi suojauskeino ei toimi tai kaksi erillistä häiriötä ovat samanaikaisesti aktiivisina. Laitteen suurin määritelty pintalämpötila ei saa ylittyä pahimmassakaan tapauksessa. Myös lämmön varastoitumisesta ja kemiallisista reaktioista johtuva lämpötilan kohoaminen täytyy huomioida. Laitteen osien avaamiselle sovelletaan laiteluokan M1 vastaavia ohjeita. Laitteen koteloinnilla on estettävä tarpeellisessa määrin pölyn tunkeutuminen laitteen sisälle. Laitteen pintalämpötilan tulee olla huomattavasti alhaisempi kuin pölyn itsesyttymislämpötila. [11, s. 18]

Laiteluokan 2 laitteissa syttymislähteitä ei saa syntyä usein tapahtuvissa tai ennakoitavissa olevissa vikatilanteissa. Laitteen suurin sallittu pintalämpötila ei saa ylittyä edes ennakoitavissa olevissa vikatilanteissa. Laitteen osien avaamiselle sovelletaan laiteluokan M1 vastaavia ohjeita. Koteloinnilla tulee tarpeellisessa määrin estää pölyn pääseminen laitteen sisälle. Laitteen pintalämpötilan tulee myös olla alhaisempi kuin pölyn itsesyttymislämpötila. [11, s. 18–19]

Laiteluokan 3 laitteissa syttymislähteitä ei saa syntyä normaalin toiminnan aikana. Laitteen pintalämpötila ei saa ylittää laitteelle määriteltyä suurinta pintalämpötilaa eikä pölyn itsesyttymislämpötilaa. Koteloinnilla tulee estää vaarallinen pölyn kerääntyminen laitteen sisälle. [11, s. 19]

## 3.2 Standardi EN 13463-1 – Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettun mekaanisen laitteen vaatimukset

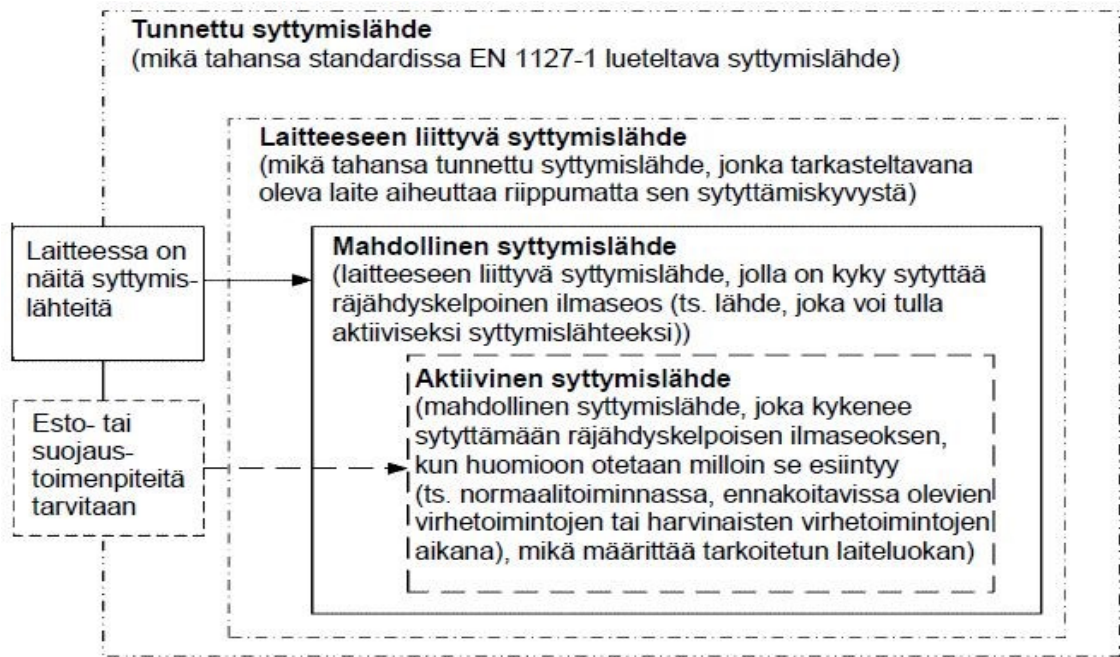
Standardi EN 13463-1 käsittelee ”muiden kuin sähkölaitteiden” vaatimuksia räjähdysvaarallisiin tiloihin. Näillä laitteilla tarkoitetaan mekaanisesti toimivia laitteita. Mekaanisten laitteiden räjähdysuojauksen estotoimenpiteet ovat hieman kevyemmät kuin säh-

kölaitteilla. Tämä johtuu siitä, että mekaaniset laitteet eivät tyypillisesti aiheuta normaalityötoiminnassa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymistä toisin kuin sähköiset laitteet. Joissakin tapauksissa mekaaniset laitteet voivat täyttää laiteluokan 2 vaatimukset, kunhan rakenteellisilla valinnoilla varmistetaan syttymislähteitä synnyttävät viat riittävän alhaiselle tasolle. Tärkein asia tässä standardissa on syttymisvaaran arviointi, jossa arvioidaan mahdollisia syttymislähteitä sekä tilanteita joissa tapauksissa nämä voivat tulla aktiivisiksi. [2, s. 6]

Tätä standardia sovelletaan olosuhteisiin, joissa ilmanpaine on 0,8 ja 1,1 baarin välillä ja lämpötila  $-20\text{ °C}$ :n ja  $+60\text{ °C}$ :n välillä. Laitetta ympäröivän lämpötilan oletetaan kuitenkin olevan välillä  $-20\text{ °C}$ :n ja  $+40\text{ °C}$  ellei toisin määrätä ja merkitä. Tämä standardi määrittelee laitteiden suunnittelua ja rakennetta koskevat vaatimukset ryhmien I ja II laiteluokille. Tämän standardin vaatimuksia voidaan täydentää suojausrakenteita koskevilla standardeilla, joita ovat EN 13463-2, EN 13463-3, EN 13463-5, EN 13463-6 ja EN 13463-8. Nämä standardit käsittelevät eri suojausmenetelmiä, joita ovat: suojaus virtausta rajoittavalla koteloinnilla, räjähdyspaineenkestävällä koteloinnilla, rakenteellisella turvallisuudella, syttymislähteiden valvonnalla sekä nesteeseen upottamalla. Lisäksi suojausmenetelmänä voidaan käyttää standardin EN 60079-2 paineistettua kotelointia. Ryhmän I laiteluokan M1 laitteille sovelletaan lisäksi standardia EN 50303. [2, s. 8]

### 3.2.1 Syttymislähde

Tutkittaessa laitteen soveltuvuutta räjähdysvaaralliseen tilaan, arvioidaan laitteeseen liittyviä syttymislähteitä sekä tilanteita, joissa nämä syttymislähteet voivat muodostua aktiivisiksi. Standardissa EN 1127-1 on lueteltuna kaikki tunnetut syttymislähteet. Näitä syttymislähteitä ovat kuumat pinnat, liekit, kuumat kaasut, mekaanisesti syntyneet kipinät, sähkölaitteista johtuvat kipinät ja valokaaret, sähköiset hajavirrat, katodinen korroosiosuojaus, staattinen sähkö, salamapurkaukset, sähkömagneettiset aallot, ionisoiva säteily, ultraäänet, adiabaattinen puristus ja paineaallot sekä eksotermiset reaktiot. Näitä syttymislähteitä laitteeseen verrattaessa saadaan selville, mitkä syttymislähteet ovat laitteeseen liittyviä. Mahdollisia syttymislähteitä ovat sellaiset laitteeseen liittyvät syttymislähteet, joilla on mahdollisuus tulla aktiiviseksi syttymislähteeksi. Aktiivinen syttymislähde on sellainen, joka pystyy sytyttämään räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Kun otetaan huomioon missä tilanteessa syttymislähde muuttuu aktiiviseksi, saadaan selville laitteen laiteluokka. Tilanteita, joissa syttyminen voi tapahtua ovat normaalitoiminta, ennakoitavissa olevat vikatilanteet sekä harvinaiset vikatilanteet. Kuvassa 7 on esitettyä aktiivisen syttymislähteen muodostumistapa. [2, s. 12–14]



**Kuva 7. Syttymislähteen vaikutusten arviointi [2, s. 14].**

Ryhmän II kaasutiloihin tarkoitetut laitteet voidaan jakaa myös räjähdysryhmiin, joita ovat IIA, IIB ja IIC. Räjähdysryhmällä IIC on tarkimmat rajoitukset, jolloin näin merkittäviä laitteita voidaan käyttää IIA, IIB ja IIC räjähdysryhmän ilmaseoksissa. IIB ryhmän laitetta voidaan käyttää IIA ja IIB mukaisissa ilmaseoksissa. Jos laitteessa ei ole määritetty räjähdysryhmää, voidaan kyseistä laitetta käyttää IIA, IIB ja IIC räjähdysryhmien ilmaseoksissa. [2, s. 18]

Syttymisvaaran arviointi muodostaa standardin EN 13463-1 tärkeimmän osion. Arvioinnin tavoitteena on määrittää laitteeseen liittyvät syttymislähteet, analysoida niiden todennäköisyyttä ja vaikutusta sekä määrittää toimenpiteet, joiden avulla laite täyttää tietyn laiteluokan vaatimukset. Arvioinnissa käytettävien laiteluokkien kriteerit on määritetty yllä ATEX laitedirektiiviä käsitellessä. Arvioinnissa otetaan huomioon osat, jotka vaurioituessaan voivat sytyttää laitteen sisältämän aineen ja muodostua siten syttymislähteeksi tai synnyttää sellaisen. Syttymisvaaran arviointi pohjautuu laitteen rakenteeseen, käyttöön, suunnittelulaskelmiin, tutkimuksiin sekä käyttöohjeisiin. Arviointi sisältää tunnistetut syttymislähteet ja niiden aiheuttajat, toimenpiteet joilla nämä syttymislähteet voidaan torjua tai pienentää riittävälle tasolle sekä perustelut toimenpiteille. Arvioinnin lopussa esitetään laiteluokitus sekä mahdolliset rajoitukset. [2, s. 20–24]

### 3.2.2 Kuumat pinnat

Kuumat pinnat voivat muodostaa syttymislähteen ollessaan yhteydessä palavaan kaasu- tai pölyseokseen tai pölykerrokseen riippuen pinnan suurimmasta lämpötilasta. Laitteen pinnan suurin lämpötila määritetään laitteelle tarkoitetussa korkeimmassa ympäristön lämpötilassa, kun laitetta kuormitetaan räjähdysuojaurakenteen mukaisessa vikatilanteessa.

Ryhmän II laiteluokan 2 laite on testattava ennakoitavissa olevassa vikatilanteessa. Ryhmän I laitteille suurin sallittu pintalämpötila on 150 °C pinnoilla, johon hiilipöly voi kerääntyä tai 450 °C pinnoilla, johon hiilipöly ei todennäköisesti keräänny. Luokan IID eli pölytilojen laitteet on määritettävä ja merkittävä todellisen pintalämpötilan mukaan. IIG luokan laitteille suurimmat sallitut pintalämpötilat on määritetty taulukossa 1. Vaihtoehtoisesti laitteeseen voidaan merkitä korkein todellinen lämpötila. [2, s. 26–28]

**Taulukko 1. Ryhmän IIG laitteiden lämpötilaluokat [2, s. 28].**

Lämpötilaluokka	Suurin pintalämpötila °C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Jos laitteen pintalämpötila on riippuvainen suurimmaksi osaksi ulkoisista tekijöistä, kuten nesteen lämpötilasta pumpussa, tulee laitteeseen merkitä TX ja käyttöohjeissa informoida asiasta. Poikkeustapauksia ovat pienet pinta-alat lämpötilaluokissa T4 ja T5, jolloin suurin sallittu lämpötila T4 luokan laitteelle ei saa ylittää arvoa 275 °C alle 20 mm<sup>2</sup> pinta-alalla ja 200 °C 20 mm<sup>2</sup>:n ja 1000 mm<sup>2</sup>:n välillä. Lämpötilaluokan T5 lämpötila ei saa ylittää 150 °C alle 1000 mm<sup>2</sup> pinta-alalla. [2, s. 28–30]

### 3.2.3 Mekaaniset kipinät

Mekaaniset kipinät voivat muodostua kitkan, iskujen tai hankaamisen seurauksena. Kipinät voivat hapettuessaan saavuttaa korkean lämpötilan ja siten sytyttää kaasui- tai pölyseoksia palamaan. Käytettäessä kipinöimättömiä metalleja, iskunopeus on 15 m/s ja suurin iskuenergia on alle 60 J kaasutiloissa ja 125 J pölytiloissa. Yksittäisiä metallien välisiä iskuja ei tarvitse huomioda syttymislähteinä, jos iskunopeus on alle 1 m/s ja suurin mahdollinen iskuenergia on alle 500 J, sekä seuraavat ehdot täyttyvät.

- Ferriittistä terästä ei saa käyttää alumiinin, titaatin ja magnesiumin kanssa
- alumiinia käytetään yhdessä ruostumattoman teräksen kanssa, kun teräs sisältää kromia yli 16,5 % ja teräs ei voi ruostua
- kovaterästä ei käytetä kovateräksen kanssa
- kovaterästä ei käytetä, jos se voi iskeytyä graniittiin
- alumiinia käytetään yhdessä alumiinin kanssa vain, jos ruostetta ei voi kertyä pinnalle. [2, s. 30–32]

Arvioitaessa iskun mahdollisuutta aiheuttaa syttymislähteen aktivoituminen, verrataan iskun tuottamaa energiaa eri laiteluokille määritettyihin arvoihin. Syttymislähteen ei katsota aktivoituvan iskunopeuden ollessa alle 15 m/s ja iskuenergian ollessa vähemmän kuin standardin EN 13463-1 taulukoissa 5–8. Taulukoista saadaan laiteluokan 2G laitteelle iskun energian raja-arvoksi 10 Nm ja 2D luokan laitteelle 80 Nm, kun ei käytetä yllä olevassa listassa mainittuja metalleja. [2, s. 32–34]

Kitkan aiheuttamia kuumia pintoja sekä kipinöitä ei tarvitse ottaa huomioon syttymisvaaran arvioinnissa, jos kosketusnopeus on alle 1m/s. Osa herkästi syttyvistä kaasuseoksista ja pölyistä saattaa syttyä alemmillakin kosketusnopeuksilla, jos kosketuskuorma on suuri. Syttymislähteen aktiivisuuden arvioinnissa tulee huomioida tilanne, jossa kitka voi aiheuttaa syttymisen. [2, s. 34]

Syttymisvaaran arvioinnin osoittaessa mekaanisista kipinöistä tai kitkasta Ryhmän I laitteiden ulkoisissa osissa käytettävät materiaalit saavat sisältää korkeintaan materiaalin massasta alumiinia, magnesiumia, titaania ja zirkoniumia yhteensä 15 % sekä magnesiumia, titaania ja zirkoniumia yhteensä 7,5 %. Ryhmän II laitteiden ulkoiset osat saavat sisältää:

- Laiteluokassa 1: alumiinia, magnesiumia, titaania ja zirkoniumia yhteensä 10 % ja magnesiumia, titaania ja zirkoniumia yhteensä 7,5 %
- Laiteluokassa 2: magnesiumia 7,5 %
- Laiteluokassa 3 ei ole erityisvaatimuksia. [2, s. 36]

### 3.2.4 Staattinen sähkö

Staattisen sähköön aiheuttamien syttymisvaarojen ehkäisemiseksi laitteen kaikki johtavat osat on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei niiden välille pääse muodostumaan potentiaalieroja. Tarvittaessa laite varustetaan maadoitusliittimellä. Laitteen sähköä johtamattomille osille ja metallien pinnoilla oleville johtamattomille kerroksille on asetettu vaatimukset eri ryhmissä ja laiteluokissa. [2, s. 38]

Ryhmän I laitteen sähköä johtamattomat ulkopinnat ja osat, joiden projisoitu pinta-ala on yli 100 cm<sup>2</sup> tulee olla pintaresistanssiltaan alle 1 GΩ tai suunnittelun avulla varmistettava, ettei kyseiselle pinnalle voi muodostua vaarallista sähköstaattista varausta. Maadoitetun metallin pinnoitteena käytetään sähköä johtamatonta materiaalia, pinnoitteen vahvuus tulee olla alle 2 mm. Ryhmän II laitteille pätee samat vaatimukset kuin ryhmässä I lukuun ottamatta pinnoitteen vahvuutta, joka saa olla räjähdysryhmässä IIC korkeintaan 0,2 mm. Projisoiduille pinta-aloille on eri rajat kuin ryhmän I laitteissa, nämä rajat on esitelty alla olevassa taulukossa 2. [2, s. 38–40]

**Taulukko 2. Ryhmän II laitteiden sähköä johtamattomien osien pinta-ala rajoitukset [2, s. 40].**

Laiteluokka	Sallittu projisoitu pinta-ala <sup>c</sup> cm <sup>2</sup>		
	IIA	IIB	IIC
1	50	25	4
2	100 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>
3	ei rajoitusta <sup>b</sup>	ei rajoitusta <sup>b</sup>	ei rajoitusta <sup>b</sup>
<sup>a</sup> mikäli laitteen tarkoitettu käyttö voi johtaa normaali toiminnan aikana usein toistuviin sytyttäviin purkauksiin, on noudatettava laiteluokan 1 vaatimuksia <sup>b</sup> mikäli laitteen tarkoitettu käyttö voi johtaa normaali toiminnan aikana usein toistuviin sytyttäviin purkauksiin, on noudatettava laiteluokan 2 vaatimuksia <sup>c</sup> Projisoitu pinta-ala: Tasomaisilla materiaaleilla tämä pinta-ala määritellään paljaan (varautuvan) pinta-alan mukaan. Kaarevilla ja ulkonevilla esineillä tämä pinta-ala on esineen suurin projisoituva alue ts. sen varjokuva. Pitkillä kapeilla esineillä kuten kaapeleilla, vaijoilla tai putkilla suurin pinta-ala määritellään poikkipinnan mittojen perusteella (ts. kaapelin, vaipan tai putken halkaisija); kelana olevaa olisi käsiteltävä vaipana. HUOM. Nämä arvot on mahdollista kertoa neljällä, jos paljaiden muovipintojen ympärillä on johtavasti maadoitettu kehys.			

Jos sähköstaattisen varauksen muodostumista ei voida estää, tulee tästä varoittaa laitteen käyttäjää sekä antaa käyttöä koskevissa tiedoissa ohjeet oikeaan käyttöön [2, s. 40].

### 3.2.5 Muut syttymislähteet

Sähköiset syttymislähteet, sähköiset harhavirrat, katodinen korroosionsuojaus, salamat sekä sähkömagneettiset aallot eivät kuulu standardin EN 13463-1 alaisuuteen ja laitteen käyttäjän tulee ottaa nämä asiat huomioon [2, s. 42]. Poikkeuksena laitteen itse aiheuttamat sähköiset harhavirrat, jotka on otettava huomioon laitteen suunnittelussa [2, s. 36].

Liekkien, kuumien kaasujen, ionisoivan säteilyn, ultraäänen, adiabaattisen puristuksen, paineiskujen ja lämpöä synnyttävien reaktioiden osalta noudatetaan standardin EN 1127-1 vaatimuksia. Standardin EN 1127-1 vaatimukset määrittävät, että avoliekit ovat kiellettyjä kaikissa laiteluokissa. Poikkeuksena ovat liekit, jotka ovat turvallisesti suljetussa tilassa eivätkä suurimmat pintalämpötilat ylitä. [2, s. 42] Ionisoiva säteily ja ultraäänit eivät ole mahdollisia syttymislähteitä tässä työssä käsiteltävälle tuotepereheelle, joten niitä ei käsitellä tässä tarkemmin.

Adiabaattisessa puristuksessa ja paineaalloissa väliaineen lämpötila voi kohota niin korkeaksi, että se kykenee sytyttämään kaasuseoksen. Tällöin on estettävä prosessit, joissa syntyy adiabaattisia puristuksia tai paineaaltoja niissä olosuhteissa, joita laiteluokka edellyttää. Esimerkiksi laiteluokan 2 laite saa synnyttää adiabaattisia puristuksia tai paineaaltoja vain harvinaisten vikojen aikana. Eksotermisten reaktioiden osalta tulee välttää aina herkästi itsesytyviä aineita sekä käyttää sopivia suojaustoimenpiteitä, joita ovat inertointi, stabilointi, jäähdytyksen parantaminen, lämpötilan ja paineen rajoittaminen, varastointi alhaisemmassa lämpötilassa sekä varastointiajan rajoittaminen. [12, s. 28, 50]

### 3.2.6 Muut rajoitukset

Liikkuvien osien välisessä raossa olevan pölyn kerääntyminen tulee estää mahdollisuuksien mukaan. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää sopivaa suojausmenetelmää standardin EN 1127-1 mukaan. Koteloiden avaamisesta pitää ohjeistaa varoituksella laitteessa, jos kotelo voidaan avata nopeammin, kuin laitteen sisällä olevat syttymislähteet deaktivoituvat. Laitteen ei-metalliset osat, jotka vaikuttavat suojaustasoon, tulee määrittää tarkat materiaalitiedot ja käsittelyt, sekä määrittää materiaalin lämmönkestävyys. Räjähdyksen eston kannalta merkityksellisten osien irtoaminen ja irrottaminen vahingossa tulee estää esimerkiksi käyttämällä kiinnittimiä, johon tarvitaan työkaluja. Koteloiden liimaamisessa käytettävän liiman tulee olla lämmönkestoltaan riittävä huomioiden laitteen suurimman käyttölämpötilan. Räjähdyksen eston kannalta tärkeiden valoa läpäisevien osien tulee kestää vaadittava iskutesti, jos sen rikkoutuminen voi johtaa jonkin syttymislähteen aktivoitumiseen. [2, s. 42–44]

### 3.2.7 Laitteen mekaaninen kestävyys

Iskunkestävyyden testauksessa laitteen ulkoiseen koteloon kohdistetaan iskuja sen räjähdysuojauksen kannalta kriittisimmiksi arvioituihin kohtiin. Testit tehdään käyttövalmiille laitteelle ja testauskohdiksi valitaan sellaiset kohdat, joihin iskut voivat käytön aikana osua. Iskuenergian suuruus riippuu taulukon 3 mukaisesti laitteen osasta ja laiteluokasta, jolle testi tehdään. [2, s. 48]

**Taulukko 3. Iskuenergian arvot laitteen eri osille [2, s. 50].**

	Iskuenergia Nm			
	I		II	
Ryhmä	Suuri	Pieni	Suuri	Pieni
Mekaanisen vaaran riski				
1. Suojukset, suojakannet, suojakuvut tai läpiviennit	20	7	7	4
2. Muoviset laitteet	20	7	7	4
3. Kevytmetalliset tai valurautaiset kotelot	20	7	7	4
4. Muista kuin kohdassa 3 mainittavista materiaaleista valmistetut kotelot, joiden seinämän paksuus on — alle 3 mm ryhmässä I — alle 1 mm ryhmässä II	20	7	7	4
5. Ilman suojusta olevat valoa läpäisevät osat	7	4	4	2
6. Suojatut valoa läpäisevät osat (testataan ilman suojusta)	4	2	2	1

Iskutesteissä saatuja tuloksia arvioidaan suhteessa räjähdysuojauksen tasoon, joka ei saa heikentyä testien seurauksena. [2, s. 50]

Ei metallisille räjähdysuojaukseen vaikuttaville osille tulee tehdä lämmönkestävyys-, kylmänkestävyys-, öljyjen ja rasvojen kestävyys-, kemiallisten aineiden kestävyys- sekä mekaanisten iskujen kestävyys testit. Lasiosille tulee tehdä lisäksi lämpöshokkitesti, jossa



lasipinnalle suihkutetaan kylmää vettä laitteen ollessa suurimmassa käyttölämpötilassaan. [2, s. 54–56]

### 3.3 Standardi EN 13463-5 – Rakenteellinen suojaus ”c”

Standardi EN 13463-5 on yksi osa EN 13463 standardisarjasta, joka määrittelee räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävien mekaanisten laitteiden vaatimukset. Standardi sisältää yhden suojautumistavan syttymisvaaroilta, jota kutsutaan rakenteelliseksi turvallisuudeksi. Tämän standardin tarkoituksena on pienentää sellaisten mekaanisten vaurioiden riskiä riittävän alhaiselle tasolle, jotka voisivat kuumien pintalämpötilojen, kipinöiden tai adiabattisen puristumisen johdosta tuottaa syttymislähteen.

Standardin mukaisen laitteen tulee toimia määritettyjen arvojen mukaisesti koko eliniän ajan sekä kestettävä laitteelle normaalisti aiheutuvat mekaaniset ja lämpörasitukset. Laitteessa käytettävät tiivisteet, jotka normaalisti tarvitsevat voiteluaineen estääkseen kuumien pintojen muodostumisen tiivisteiden pinnoissa. Nämä tiivisteet on suunniteltava siten, että voiteluaineen saatavuus on aina varmistettu tai vaihtoehtoisesti voiteluaineen riittävän määrän jatkuvalla valvonnalla, käyttämällä lämpötilan noususta varoittavaa anturia tai suunnittelemalla laite läpäisemään kuivakäyttötestin. [13, s. 12–14]

Laitteesta on selvitettävä ne liikkuvat osat, jotka voivat aiheuttaa syttymislähteen muodostumisen. Nämä osat on rakennettava siten, etteivät ne laiteluokka huomioon ottaen tule aktiiviseksi syttymislähteeksi. Liikkuvien ja paikallaan pysyvien voitelemattomien osien välykset tulee olla riittävän suuret, jotteivät ne aiheuta syttymislähteen syntymistä. Voitelua vaativien liikkuvien osien voitelu tulee varmistaa öljyn roiskevoitelulla, automaattisella voitelujärjestelmällä tai tarkastelemalla voiteluaineen määrää manuaalisesti huolto- ja tarkastusohjeiden mukaisesti. Jos prosessineste toimii voiteluaineena, jäähdytysnesteinä tai ehkäisee syttymislähteen muodostumisen, on tästä ilmoitettava käyttöohjeessa. Liukulaakereiden osalta noudatetaan edellä mainittua menettelyä. [13, s. 16–20]

Hydrostaattisten ja hydrokineettisten laitteiden tulee täyttää standardin EN ISO 4413 vaatimukset. Lisäksi hydrauliset järjestelmät on rakennettava sellaisista osista, jotka eivät ylitä suurinta sallittua pintalämpötilaa edes toimiessaan suurimmalla sallitulla nimellistehollaan. Hydraulineste ei saa aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymistä eikä sen lämpötila saa ylittää laitteen suurinta pintalämpötilaa. Ryhmän I laitteen hydraulinesteen tulee olla paloluokituksestaan luokkaa 2 Wick-testillä testattuna SHCMOEI julkaisun ”Requirements and test applicable to fire-resistant hydraulic fluids used for power transmission and control (Hydrostatic and Hydrokinetic)” mukaan. [13, s. 24]

Tiivisteiden kuivakäyntitestissä mitataan tiivisteiden kuumentumista, kun tiivisteiden voiteluaine puuttuu. Testissä poistetaan voiteluaine tiivisteestä, käyttämättä liuottimia. Tämän

jälkeen ajetaan laitetta vähintään tunti suurimmalla sallitulla nopeudella. Tiivisteiden lämpötilaa mitataan mahdollisimman läheltä tiivistettä. Suurin mitattu lämpötila ei saa ylittää laitteen suurinta sallittua pintalämpötilaa. [13, s. 56]

### **3.4 Standardi EN 1710 – Kaivosten räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät laitteet ja komponentit**

Standardissa EN 1710 käsitellään vaatimuksia kaivosten räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja komponenttien osalta. Standardissa oletetaan laitteen olevan rakennettu konedirektiivin 2006/42/EC mukaisesti, pidetty hyvässä kunnossa sekä virheettömästi valmistettu. Laitteen täyttäessä tämän standardin vaatimukset voidaan laitetta pitää ryhmän I laiteluokan M2 vaatimukset täyttävänä laitteena. [14, s. 5–6]

Syttymisvaaran arviointi tulee tehdä standardin EN 13463-1 mukaan mekaanisille laitteille. Lisäksi laitteen suunnittelussa tulee huomioida standardien EN 13463-1 ja EN 60079-0 vaatimukset pintalämpötilan rajoittamisesta, sähköstaattisista ominaisuuksista, kevytmetallien käytön välttämisestä sekä suorittaa vaaditut testit laitteen ei-metallisille osille, joista suojausrakenne on riippuvainen. Laitteen pintalämpötilan rajoittamiseksi voidaan käyttää jatkuvaa lämpötilan seurantaa, lämpötilan tarkistamista tietyin väliajoin, jäähdytysjärjestelmällä, mittauslaitteistolla joka sammuttaa laitteen lämpötilan ylittäessä asetusarvon tai rajoittamalla laitteen tehonkäyttöä. Mekaanisten laitteiden suojaukseen voidaan käyttää standardisarjan EN 13463 suojausmenetelmiä: rakenteellinen turvallisuus, syttymislähteen valvonta sekä suojaus nesteeseen upottamalla. [14, s. 8–9]

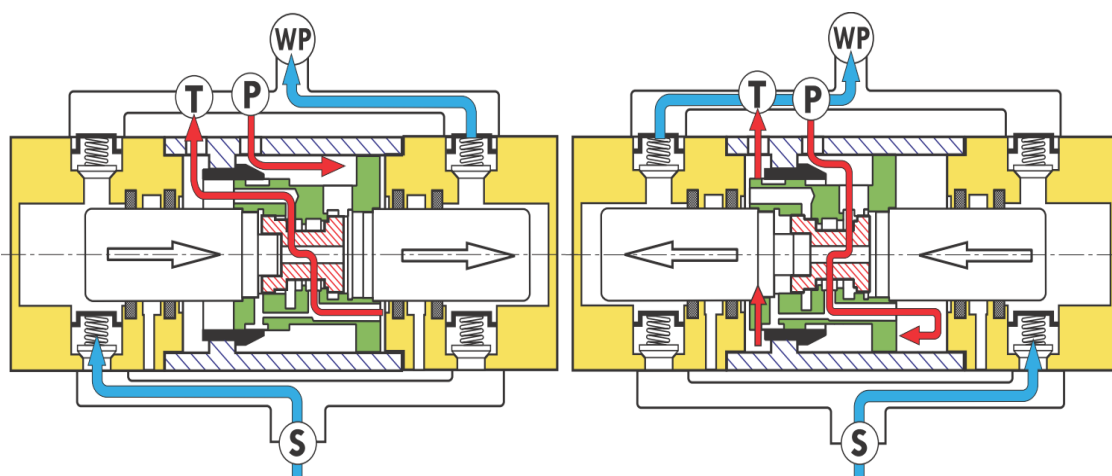
Tulelta suojautuakseen laitteen kaikkien osien on oltava tulenkestäviä, jos mahdollista. Muissa tapauksissa tulee tulelta suojaamiseksi soveltaa standardin EN 13478 vaatimuksia. Kaikkien ei-metallisten materiaalien tulee olla tulenkestäviä. Jos tulenkestävyyttä ei ole testattu, tulee käyttää standardin EN ISO 340 mukaista liekkiä 10 s:n ajan materiaaliin. Tämän jälkeen palamisen tulee loppua 15 s:n kuluessa liekin poistamisesta. Tätä testiä ei tarvitse tehdä materiaaleille, joiden massa on alle 0,5 kg [15] sekä osille, joiden palaminen on hyväksyttävää. [14, s. 17–18]

Hydraulisten laitteiden tulee täyttää konedirektiivin EN ISO 12100:2003 vaatimukset sekä hydraulisia järjestelmiä ja komponentteja koskevan standardin EN ISO 4413 vaatimukset. Lisäksi hydrauliset laitteet tulee suunnitella käytettäväksi palamattomien hydraulinesteiden kanssa standardin EN 13463-5 mukaisesti. [14, s. 18]

## 4. HPW PERHEEN TUOTTEET

Dynaset Oy:n tunnetuimpia tuotteita ovat hydraulisesti toimivat korkeapainevesipumput, joista vanhimpia on valmistettu Dynaset Oy:ssä vuodesta 1986 lähtien. HPW perheeseen kuuluvat hydraulisesti toimivat korkeapainevesipumput, porausnestepumput, täryt, paineenkohottimet sekä nytkysylinteri. HPW perheeseen kuuluu yhteensä 26 mallia, joihin on saatavilla erilaisia lisävarusteita, sekä eri materiaaleista valmistettuja pumppuja käyttösovelluksen vaatimusten mukaan. Yhteensä erilaisia rakennevaihtoehtoja on useita kymmeniä. [1][16]

Kaikki HPW perheen tuotteet toimivat hydraulinesteen avulla käyttäen hyväksi määntä-mäntään periaatetta, jossa hydraulinen teho muutetaan edestakaisin liikkuvaksi liikkeeksi hydraulimännän avulla. Hydraulimäntään on kiinnitetty toisiomännät, joiden avulla voidaan tuottaa vesitehoa, tärinää tai kohottaa hydraulinesteen painetta painesuhteen avulla. Mäntäkokoontalo sisältää hydraulimännän, toisiomännät sekä hydraulimännän sisällä olevan 3/2- suuntaventtiilin. Suuntaventtiilin avulla vaihdetaan mäntäkokoontalon suunta iskun lopussa, kun hydraulimännässä oleva kanava avautuu ja ohjaa suuntaventtiilin toiseen asentoon, jolloin männän liikesuunta vaihtuu. Ensimmäistä liikutetaan hydraulinesteellä ja toisiomäntä pumppaa vettä, muuta pumpattavaa nestettä tai tuottaa tärinää. [16]



**Kuva 8. HPW pumpun toimintaperiaate [17, s. 20].**

Hydrauliöljy ohjataan kuvassa 8 olevan pumpun P kanavasta sisään, jolloin mäntä lähtee liikkumaan oikealle päin yllä olevan kuvan mukaisesti. Männän liikkeessa oikeaan reunaan, siirtyy männän sisällä oleva suuntaventtiili oikeaan reunaan painekanavan avauduttua vaihtoventtiilin taakse. Tällöin paine ohjataan oikeanpuoleisen kuvan mukaan männän toiselle puolel, jolloin mäntäkokoontalo liikkuu vasemmalle. Vasempaan reunaan päästessään vaihtoventtiilin takana oleva painekanava avautuu tankkilinjaan, jonka joh-

dosta vaihtventtiili siirtyy vasempaan reunaan ja työjakso alkaa alusta. Nesteen pumpaaminen tapahtuu mäntien tuottaman imu- ja poistotahdin seurauksena. Toinen kammio on aina poistotahdissa ja toinen kammio imutahdissa. Vastaventtiilit ohjaavat nesteen liikettä toisiopuolella imupuolelta painepuolelle. Lisäksi vastaventtiilit estävät nesteen liikumisen kammiosta toiseen. Toimintaperiaatteesta johtuen pumpun tuottama tilavuusvirta ja täten myös vesipaine on pulssimaista. Pulssimaisuus johtuu mäntäpaketin hetkelisestä pysähtymisestä iskun lopussa, kun vaihtventtiili siirtyy toiseen asentoon aiheuttaen mäntäpaketin suunnanvaihdon.

#### 4.1 HPW- Hydrauliset korkeapainevesipumput

Korkeapainevesipumppuja löytyy suurella skaalalla paineenkestoltaan sekä vedentuotoltaan. Matalapaineisin vesipumppu kykenee tuottamaan maksimissaan 40 bar:n vesipaineen ja korkeimmillaan saavutetaan jopa 1600 bar:n vesipaine. Pumppujen tuottama tilavuusvirta vaihtelee 15 litrasta 300 litraan minuutissa. Laajasta skaalasta johtuen HPW perheestä löytyy sopiva pumppu lähes jokaiseen käyttökohteeseen. [17, s. 22]

Pumppuja on mahdollista kytkeä rinnan tai sarjaan, jolloin saadaan laajennettua pumppujen ominaisuuksia käyttösovelluksen tarpeiden mukaan [16]. Kytkemällä pumppujen hydraulikka sarjaan, saadaan samalla tilavuusvirralla kasvatettua pumppujen tuottamaa tilavuusvirtaa, mutta tällöin vesipaine alenee kääntäen verrannollisesti pumppujen määrään nähden. Hydrauliikan ollessa rinnankytkettynä, saadaan vesipaine säilytettyä korkeana, mutta tällöin hydraulinesteen tilavuusvirran tarve kasvaa suoraan suhteessa pumppujen määrään.



**Kuva 9. HPW200/30-45 korkeapainevesipumppu [18].**

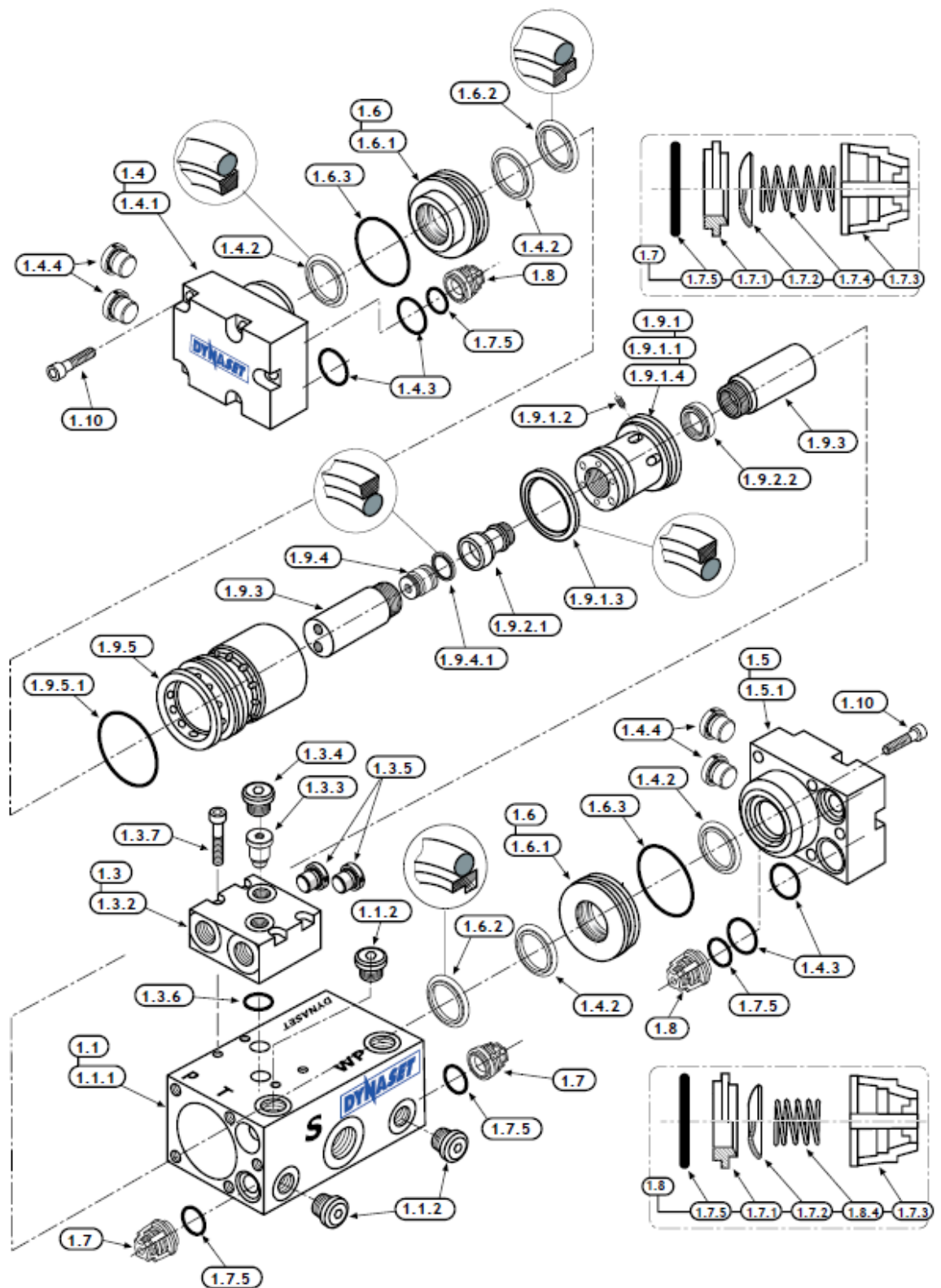
HPW pumppuja on saatavilla useisiin eri käyttökohteisiin. Suurin osa pumpuista menee mobilekoneisiin, muita käyttökohteita ovat kaivokset, laivat, offshore sekä vedenalaiset sovellukset. Joistakin pumppumalleista on useita eri materiaali vaihtoehtoja, kuten HPW

200/30-45, jota valmistetaan alumiinisella rungolla, ruostumattomasta teräksestä valmistetulla rungolla, alumiinipronssi rungolla sekä näiden yhdistelmillä. Kuvassa 9 esiintyy Dynaset Oy:n eniten myyty vesipumppumalli HPW200/30-45.

**Taulukko 4. HPW pumppujen perusmallien luettelo [17, s. 22].**

Models	Water output power			Pressure ratio Water/Hydraulics	Dimensions (WxLxH) mm	Weight kg	Hydraulic input	
	Pressure, bar	Flow, l/min	Power, kW				l/min	Max. Bar
HPW200/30-45	200	30	10	1,18	245x160x170-195	8-12	45	210
HPW420/20-50	420	20	14	2,12	245x125x155-210	15-18	50	220
HPW220/50-70	220	50	18	1,26	280x150x190-235	15-18	70	210
HPW90/150-85	90	150	23	0,52	370x170x245-275	30-31	85	210
HPW520/30-85	520	30	26	2,62	290x115x170-225	20-22	85	210
HPW180/90-115	180	90	27	1,12	330x220x180-190	27-29	115	210
HPW460/50-115	460	50	39	2,03	320x195x200	30-33	115	250
HPW130/180-140	130	180	39	0,68	415x165x260-270	45-47	140	250
HPW800/30-140	800	30	40	4	340x195x195	39	140	210
HPW1000/30-140	1000	30	50	4	380x155x195	32	140	290
HPW1600/15-140	1600	15	40	7,87	400x195x160	36	140	230
HPW300/300-350	300	300	150	1,06	740x270x360	170	350	300
HPW1200/100-440	1200	100	200	4	915x270x350	177	400	350

Taulukossa 4 on lueteltuna kaikki saatavilla olevat HPW pumppujen perusmallit. Mallinimessä ensimmäinen luku ilmoittaa suurimman sallitun vesipaineen, toinen luku veden tilavuusvirran ja kolmas luku öljyn tilavuusvirran. Taulukosta 4 nähdään korkeapainevesipumppujen tuottama vesiteho, joka vaihtelee 10 kW:n tehosta aina 177 kW:iin asti. Kun verrataan taulukon ilmoittamia tehoja pumppujen massaan, voidaan havaita pumppujen tuottaman tehopainosuhteen olevan likimain 1 kW/kg, joka osoittaa pumppujen olevan todella tehokkaita suhteutettuna niiden kokoon. Pumppuihin on saatavilla lisävarusteena vapaakiertoventtiili, erikoismateriaaleja käyttösovelluksen mukaan sekä useita erilaisia hydraulikomponentteja pumpun toiminnan säätöön [16].



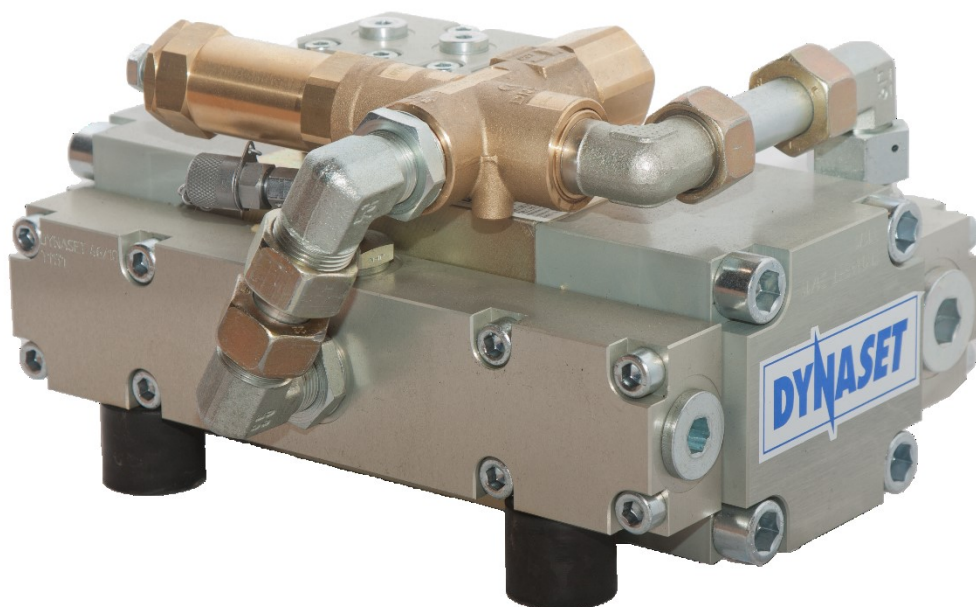
Kuva 10. Rakennekuva HPW200/30-45 korkeapainevesipumpusta [19, s. 2].

Pumpun rakenne voidaan jakaa viiteen osakokonaisuuteen, jotka on esitetty kuvassa 10. Ylimpänä kuvassa on päätykokoonpano merkittynä numerolla 1.4. Tämä kokoonpano sisältää vesipäädyn, männänvarren tiivisteet, kanavien tulpat, vesipaineventtiilin sekä päädyn kiinnityspultit. Seuraavana on numerolla 1.6 merkittynä tiivistelaippakokoonpano, joka sisältää tiivistelaipan sekä männänvarren tiivisteet. Numerolla 1.9 on merkittynä pumpun ainoat liikkuvat osat, eli mäntäkokoonpano, joka sisältää vesimännät, hydraulimännän, sylinteriholkin, vaihtoventtiilin sekä tiivisteet. Kuvan alaosassa numerolla 1.3 on PT-laippakokoonpano, joka sisältää laipan, kanavien tulpat, kiinnityspultit, minimipaineventtiilin sekä kiinnityspultit. Alimmaisena on numerolla 1.1 runkokokoonpano, jonka ympärille pumppu rakennetaan. Sen rakenteeseen kuuluu keskirunko, kanavien tulpat sekä toisiopuolen imuventtiilit tiivisteineen. [19, s. 3]

Toisissa pumppumalleissa on lisäksi erilliset imu- ja painesarjat, joiden avulla vesi johdetaan pumppuun ja sieltä eteenpäin. Näiden kokoonpanojen lisäksi pumppuihin kuuluu yleensä kumityynyt pumpun kiinnittämiseksi sekä painemittari.

#### 4.1.1 Alumiinirunkoiset pumput

Lähes kaikki perusmalliset pumput sisältävät alumiinia rakennusaineena, johtuen alumiinin keveydestä sekä korroosionkestosta. Alumiinin suurimpana heikkoutena on sen suhteellisen heikko lujuus verrattuna teräksiin, varsinkin väsyttävässä kuormituksessa. [16] Alumiinin myötöraja vaihtelee seoksesta riippuen noin 100 MPa ja 400 MPa välillä [20].



*Kuva 11. Alumiinisista osista valmistettu HPW180/90-115 [18].*



Korkeapainevesipumpuissa käytetään alumiinisia keskirunkoja sekä PT-laippoja hydraulipaineen ollessa maksimissaan 210 bar. Toisiopuolella käytetään alumiinisia päätyjä aina 220 bar:n paineeseen asti. Alumiiniset osat on suojattu hapettumiselta anodisointi käsittelyllä. [16] Kuvassa 11 on HPW180/90-115 korkeapainevesipumppu joissa päädyt, eli painekammiot sekä imu- ja painesarjat ovat valmistettu korkealuokkaisesta alumiinista.

#### 4.1.2 Teräsrunkoiset pumput

Teräksestä valmistetut pumput ovat edullisia verrattuna muihin materiaalivaihtoehtoihin. Suurimpana ongelmana teräksisessä rakenteessa on sen heikko korroosionkesto. Korroosionkesto voidaan parantaa erilaisilla pinnoitteilla kuten sinkittämällä, maalaamalla tai nitraamalla runko. Teräs ei sovellu käytettäväksi vesipuolen osissa, koska kanavien pinnoittaminen tulisi todella kalliiksi ja pinnoitteen saaminen pysyväksi olisi haasteellista. [16] Teräksen myötöraja on tyypillisesti 235 MPa:sta yli 700 MPa:iin [21]. Tyypillisesti rakenneteräksenä käytetään S355 terästä, jonka myötöraja on 355 MPa.



*Kuva 12. HPW90/150-85 korkeapainevesipumppu [18].*



Teräksisiä osia käytetään pääasiassa keskirungon materiaalina pumppujen perusmalleissa sekä pumppujen kiinnitysaloissa, kun ympäristö ei ole erityisen korrosoiva. Esimerkiksi kuvassa 12 olevassa HPW90/150-85 pumpussa keskirunko on valmistettu teräksestä, jonka pintakäsittelynä on sähkösinkki korroosionkeston parantamiseksi.

#### 4.1.3 Alumiinipronssirunkoiset pumput

Alumiinipronssia käytetään keskirunkojen ja vesipäätyjen materiaalina sovelluksissa, joissa alumiinin lujuus, kulutuskestävyys ja korroosionkestävyys eivät ole riittäviä. Alumiinipronssista valmistettuja pumppuja on saatavilla 460 bar:n painetasolle asti. Alumiinipronssi sisältää suurimmaksi osaksi kuparia. Alumiinia on alumiinipronssissa alle 15 prosenttia. [16][22]

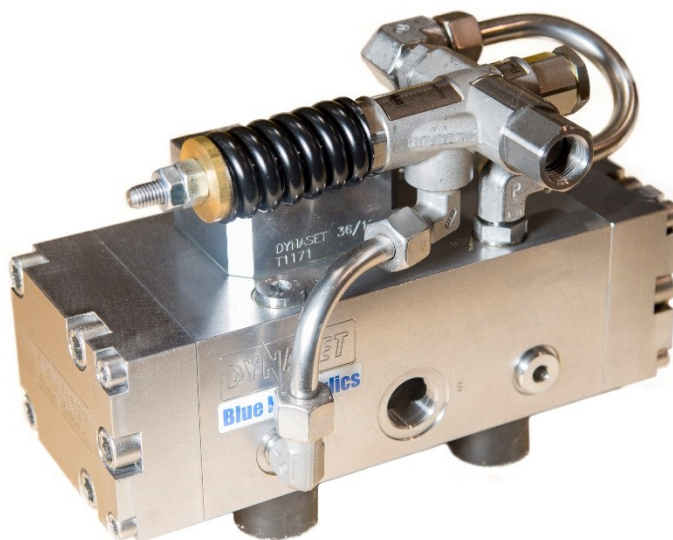


***Kuva 13. Alumiinipronssista valmistettu korkeapainevesipumppu [18].***

Alumiinipronssia käytetään kohteissa, joissa on suuri ilmankosteus kuten kaivosteollisuudessa ja offshore sovelluksissa. Kuvassa 13 on HPW200/30-45-AB korkeapainevesipumppu, jota käytetään tyypillisesti kaivosolosuhteissa. Lisäksi alumiinipronssisia pumppuja voidaan käyttää vedenalaisissa sovelluksissa. Alumiinipronssi kestää alumiinia paremmin syövyttäviä nesteitä, jolloin alumiinipronssin käyttö on suositeltavaa, kun alumiinin kemialliset ominaisuudet eivät ole riittävän hyvät käyttökohteeseen. [16]

#### 4.1.4 Ruostumattomasta teräksestä valmistetut pumput

Ruostumattomat teräkset (RST) jaotellaan neljään kategoriaan, joita ovat austeniittiset, duplex, ferriittiset ja martensiittiset ruostumattomat teräkset. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat hyviä korroosionkestoltaan, mutta niiden heikkoutena on lujuus. Austeniittisten terästen myötöraja vaihtelee 250 ja 300 MPa:n välillä peruslaaduilla. Duplex-teräkset ovat korroosionkestoltaan austeniittisten terästen tasoa ja lujuudeltaan noin kaksi kertaa lujempia. Duplex-terästen myötöraja on 450–730 MPa riippuen seoksesta ja valmistusmenetelmästä. Ferriittisten ruostumattomien terästen korroosionkesto on tyypillisesti heikompia kuin austeniittisillä teräksillä. Lujuudeltaan Ferriittiset teräkset ovat hieman parempia kuin austeniittiset teräkset. Ferriittisten terästen myötöraja on 255–510 MPa. Martensiittisten terästen korroosionkesto riippuu käytettävästä seoksesta. Tyypillisesti korroosionkesto on hieman heikompia kuin austeniittisillä teräksillä. Martensiittisten terästen myötöraja on 210–500 MPa, joten lujuudeltaan ne ovat lähellä ferriittisiä teräksiä. [23]



**Kuva 14. Ruostumattomasta teräksestä valmistettu HPW520/30-85 [18].**

Ruostumatonta ja haponkestävää terästä (HST) käytetään pumppujen rakennusaineena, kun vaaditaan hyvää korroosionkestoa sekä suurta lujuutta. Kuvassa 14 on esimerkki Dynaset Oy:n valmistamasta hydraulisesta korkeapainevesipumpusta, joka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Erityisesti kosteissa ja märissä olosuhteissa ruostumattoman teräksen ominaisuudet ovat erinomaisia silloin, kun alumiinin lujuus ei ole riittävä. Ruostumatonta terästä voidaan käyttää kaikissa Dynasetin pumppumalleissa. Ruostumatonta teräksistä valitaan sopivin materiaali käyttökohteen mukaan. Esimerkiksi vedenalaisiin sovelluksiin tarkoitetuissa pumpuissa teräksenä käytetään austeniittista- tai dup-

lex-terästä, jottei pumppuun muodostu korroosiota. Martensiittista terästä voidaan käyttää kaikissa tiloissa lukuun ottamatta vedenalaisia kohteita, koska martensiittiseen teräkseen muodostuu pistekorroosiota. Yllä olevassa kuvassa esiintyvä pumppu on valmistettu martensiittisestä ruostumattomasta teräksestä. [16]

## 4.2 HDF- Hydrauliset poranestepumput

porausnestepumput (HDF) ovat rakenteeltaan lähes samanlaisia kuin HPW pumput. HDF pumpuissa käytetään paremmin eroosiota kestäviä toisiomäntiä, sekä toisiopuolen imu- ja paineventtiileitä. Porausnesteellä on huomattavasti korkeampi viskositeetti kuin vedellä, jonka vuoksi HDF pumppujen maksimipainetta ja tilavuusvirtaa on rajoitettu kavi- taation estämiseksi. HDF pumpuilla voidaan pumpata nestettä, jonka kiintoainepitoisuus on jopa 25 prosenttia. [16][17, s. 31]

**Taulukko 5. HDF pumppujen luettelo [17, s. 31].**

Models	Water output power			Pressure ratio Water/Hydraulics	Dimensions (WxLxH) mm	Weight kg	Hydraulic input	
	Pressure, bar	Flow, l/min	Power, kW				l/min	Max. Bar
HDF 40/40-8	40	40	2,6	0,2	315x190x170	8	8	210
HDF 180/23-35	180	23	7	1,18	245x160x170	8	35	210
HDF 90/150-85	90	150	23	0,52	370x175x245	30	85	210
HDF 160/70-90	160	70	19	1,12	330x220x180	27	90	210
HDF 200/40-55	200	40	13	1,26	280x150x210	15	55	210
HDF 200/250-280	200	250	85	1,06	740x270x360	170	280	210

Taulukossa 5 esitettävien HDF pumppujen nimet noudattavat samaa kaavaa HPW pumppujen kanssa. Ne on rakennettu HPW mallien pohjalta, esimerkiksi HDF 180/23-35 pohjautuu HPW 200/30-45 malliin. HDF pumpuille on myös lisävarusteita tarjolla, mutta pumpattava nesteen sisältämien kiinteiden partikkelien johdosta esimerkiksi painemittaria ei suositella käytettävän, koska se tukkeutuisi pumppausnesteeseen sisältämän kiintoaineen johdosta. Myöskään vapaakiertoventtiiliä ei ole saatavilla HDF pumppuihin, johtuen porausnesteeseen kiintoaineesta, joka kuluttaa ja jumittaa venttiilin. HDF pumpuissa ei yleensä käytetä teräksestä valmistettuja osia, johtuen niiden korroosio herkkyydestä. [16]



***Kuva 15. HDF40/40-8 porausnestepumppu [18].***

Kuvassa 15 on porausnestepumpuksi suunniteltu malli HDF40/40-8, jonka rungon osat on valmistettu alumiinista ja sylinteriholkit messinkiseoksesta. Pultteina käytetään 8.8 lujuusluokan sinkittyjä pultteja HDF40/40-8 pumpussa.

## 5. DISPOSITIONENTELMÄN SOVELTAMINEN ATEX LAITTEIDEN SUUNNITTELUSSA

Räjähdyksivaarallisiin tiloihin soveltuvien laitteiden kehittämisprosessissa käytetään hyödyksi analysoinnissa dispositiomenetelmää. Menetelmän avulla pyritään huomiomaan kaikki tuotteeseen vaikuttavat ominaisuudet ja kustannukset tuotteen koko elinkaaren ajalta, sekä pyritään maksimoimaan näiden ominaisuuksien tuottamat hyödyt. Suunnittelussa pyritään huomiomaan suunnittelun vaikutukset komponenttien valmistukseen, kokoonpanoon sekä kestävyYTEEN. Räjähdyksivaarallisiin tiloihin soveltuvat laitteet kehitetään Dynaset Oy:n perustuotteiden pohjalta. Tarvittavia muutoksia arvioidaan dispositiomenetelmän keinojen avulla ja näin saadaan toteutettua kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen laite. Laitteissa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon perustuotteissa käytettäviä osia, jotta varastointi, valmistus ja tuotannon hallinta olisi mahdollisimman kustannustehokasta. Muutoksia tutkittaessa tehdään aluksi hypoteesi muutoksesta, jonka jälkeen tutkitaan kuinka kyseinen muutos vaikuttaa muihin toimintoihin.

Tutkimus olisi voitu toteuttaa myös DFMA menetelmällä, jolloin huomiota olisi kiinnitetty valmistukseen ja kokoonpanoon, mutta tällöin monet yrityksen toiminnot olisivat jääneet ilman huomiota. Dispositiomenetelmä kattaa myös DFMA menetelmän alueen, jolloin on järkevää käyttää tätä laajempaa menetelmää optimoidakseen kokonaisuudesta saavutettavaa hyötyä sekä tehostaakseen yrityksen toimintaa kokonaisuutena.

Seuraavaksi määritetään räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuvien laitteiden, eli ATEX laitteiden rakenteet vastaamaan EU direktiivin asettamia vaatimuksia. Tämä toteutetaan noudattamalla standardien EN 13463-1, EN 13463-5 ja EN 1710 vaatimuksia. Räjähdyksivaaralliseen tilaan soveltuvista laitteista koostuu kokonainen tuoteperhe. Tuoteperheeseen kuuluvat hydraulikorkeapainevesipumput ja hydrauliset porausnestepumput. Vesipumppuja on 20 eri mallia ja porausnestepumppuista malleja löytyy 6 kappaletta.

### 5.1 Vaatimukset mekaanisille laitteille

Dynaset Oy:n tavoitteena on saada ATEX hyväksynyt kaikille HPW tuoteperheen laitteille. Laitteiden tulisi täyttää kaivoksissa vaadittavien työlaitteiden vaatimukset, eli ryhmän I luokan M2 vaatimukset. Muualla teollisuudessa käytettävien laitteiden pitäisi täyttää tilaluokkien 1 ja 21 vaatimukset, eli ryhmän II laiteluokan 2 GD vaatimukset. Näiden vaatimusten pohjalta pyritään kehittämään kaikista HPW perheen tuotteista vaatimukset täyttävät mallit. Seuraavassa käsitellään standardien ja direktiivin vaatimuksia ja suoritettavia testejä, jotka koskevat suunniteltavia hydraulikorkeapainevesipumppuja ja hydrauliporanestepumppuja.

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen mekaanisten laitteiden standardissa EN 13463-1 määritetään laitteiden suurimmat pintalämpötilat, joita laitteet eivät saa ylittää. Kaivoksiin tarkoitettavissa ryhmän I, luokan M2 laitteissa 150 °C on suurin sallittu pintalämpötila. Ryhmän II laitteilla noudatetaan taulukon 3 lämpötilaluokituksia, joiden mukaan määräytyy laitteen lämpötilaluokka. Lämpötilaluokka kuvaa suurinta lämpötilaa, jonka laite voi saavuttaa laiteluokan määrittelemissä tilanteissa. [2, s. 28] Kaikille laitteille pakollisessa testissä määritetään laitteen suurin mahdollinen pintalämpötila laitteen suurimmalla käyttöteholla suurimmassa sallitussa ympäristön lämpötilassa tai korjattuna tulosta testauslämpötilan ja suurimman sallitun lämpötilan erotuksen verran. Suurin lämpötila on saavutettu, kun laitteen lämpötilan nousu on alle 2 K tunnissa tai laitteen lämpötilaa rajoittava laite on aktivoitunut. [2, s. 46] Mittauksissa lämpötilaluokituksiksi saatiin T6, eli 85 °C pumpuissa, joissa ei ole vapaakiertoventtiiliä ja vapaakiertoventtiilillä varustettujen pumppujen lämpötilaluokaksi saatiin T5, eli 100 °C. Tällöin molemmat pumppumallit täyttävät kaivoksissa voimassa olevan 150 °C lämpötilaluokituksen M2 laiteluokan laitteelle. Lämpötilaluokitukset määrittävät mittausraportit löytyvät liitteistä A ja B.

Kappaleen 3.2.3 mukaan ryhmän I laitteiden ulkoiset osat saavat sisältää alumiinia korkeintaan 15 % sekä ryhmän II, laiteluokan 2 osat saavat sisältää magnesiumia korkeintaan 7,5 %. Näiden rajoitusten johdosta kaivoksissa käytettävät pumput täytyy suunnitella siten, etteivät niissä käytettyjen osien alumiinipitoisuus ylitä sallittuja arvoja. Lisäksi alumiinia ei voida käyttää yhdessä ferriittisen teräksen kanssa. Käytettäessä alumiinia yhdessä ruostumattoman teräksen kanssa, tulee teräksen kromipitoisuuden olla yli 16,5 % ja teräs ei saa ruostua eikä sen pinnalle saa muodostua ruostetta. Pumpuista suurin osa koostuu alumiinisista, teräksisistä sekä ruostumattomasta teräksestä valmistetuista komponenteista. Lisäksi kiinnityspulttien ja kanavien tulppien materiaalina käytetään tyypillisesti sinkittyä terästä. Näiden pumppujen rakennetta täytyy muokata siten, ettei alumiinisia osia käytetä yhdessä teräksisten osien kanssa. Kaivoksiin soveltuviksi tarkoitetut laitteet täytyy suunnitella siten, etteivät ne sisällä lainkaan alumiinisia osia, johtuen ryhmän M2 15 % alumiinipitoisuus vaatimuksesta.

Staattisen sähköpurkautumisen aiheuttamilta räjähdyksiltä suojautumiseksi, pitää estää laitteen staattisen sähkövarauksen muodostuminen vaaralliseksi. Pumput ovat lähes aina kiinnitetty kumityynyjen välityksellä ympäröivään rakenteeseen, jolloin kumityyny toimivat samalla myös eristeenä rungon ja pumpun välillä. Tämän vuoksi pumput on varustettava maadoitusliittimillä, jotta pumput saadaan samaan potentiaaliin rungon kanssa ja vaarallisen staattisen sähkövarauksen muodostuminen saadaan estettyä.

Puristettaessa vettä tai muuta nestettä pumpun sisällä lähes adiabaattisesti, täytyy huomioida adiabaattisen puristumisen aiheuttama syttymisvaara. Käytettäessä vain palamattomia nesteitä pumpussa, ei adiabaattinen puristuminen aiheuta syttymisvaaraa. Palavien nesteiden pumppaaminen on kielletty käyttöohjeissa, jolloin niitä ei tarvitse huomioida erikseen pumpun suunnittelussa.

Iskunkestävyyden varmistamiseksi laitteille tulee suorittaa iskunkestävyydesti Taulukko 3 esitettyjen arvojen mukaan. Pumppujen iskunkestävyyttä määritettäessä käytetään suurinta määritettyä iskuenergiaa ryhmän I laitteelle, kun runko on valmistettu kevytmetallista. Testissä pudotetaan 1 kg painoinen massa 2 m korkeudelta ryhmän I vaatimusten mukaisesti, jolloin iskuenergiaksi muodostuu 20 Nm. Testin seurauksena laite ei saa vaurioitua siten, että sen suojaustaso heikkenisi. Testilaitteistona käytetään standardissa EN 13463-1, liitteessä E kuvatun kaltaista testauslaitteistoa [2, s. 110].

Pumpuissa ei ole ulkoisia liikkuvia osia, jolloin suurimman riskin aiheuttaa pumpun rungon muodonmuutos. Muodonmuutoksen seurauksena pumpun sisällä liikkuvan mäntäkoonpanon ja tiivisteiden välinen kitka saattaa kohota ja aiheuttaa pumpun ylikuumenemisen tai kiinnileikkautumisen, jonka seurauksena pumpun pintalämpötila saattaa kohota yli suurimman sallitun pintalämpötilan. Iskun seurauksena pumpun runkoon syntyi pieni plastinen muodonmuutos, mutta suorituskykytestin perusteella kolhulla ei ollut lainkaan vaikutusta pumpun toimintaan. Iskunkestävyyden mittausraportti löytyy liitteestä C.

Täyttääkseen standardin EN 13463-5 rakenteellinen suojaus ”c”, tulee pumpun täyttää standardin ISO 4413 vaatimukset hydraulisille laitteille. Konedirektiivin täyttääkseen tulee hydraulisen laitteen täyttää myös ISO 4413 vaatimukset, joten pumput täyttävät tämän vaatimuksen jo ennestään. Lisäksi pumpun tiivisteiden tulee läpäistä kuivakäyntitesti standardin EN 13463-5 mukaan, jossa testataan tiivisteiden lämpenemistä, kun voiteluainetta ei ole käytettävissä.

Kuivakäyntitestaukset suoritettiin HPW200/30-45 ja HPW420/20-50 pumpuille, joissa männänvarren ja tiivisteiden välinen liukunopeus on suurin. Nämä pumput käyttävät eri materiaaleja männänvarren tiivistykseen, jolloin molemmille tiivistemateriaaleille suoritettiin omat mittaukset. Tiivisteiden lämpötilat olivat tunnin jälkeen 61 °C HPW200/30-45 pumpussa ja 57 °C HPW420/20-50 pumpussa. Mittausraportit löytyvät liitteistä D ja E.

Laitteen ei-metallisten osien tulee täyttää kappaleissa 3.2.6 ja 3.4 esitetyt vaatimukset. Pumppujen ulkoisissa osissa ei juurikaan käytetä ei-metallisia osia, lukuun ottamatta kumityynyjä ja tyyppitarraa. Nämä osat eivät ole räjähdysuojauksen kannalta oleellisia osia, joten riittää, kun tarkastellaan materiaalien tulenkestävyyttä. Tarran massa on huomattavasti pienempi kuin 0,5 kg, joten sen tulenkestävyyttä ei tarvitse tarkastella. Yksittäisen kumityynyn massa on alle 0,5 kg. Kumityynyjä on kuitenkin aina vähintään 4 kpl, joten yhteensä näiden massa ylittää 0,5 kg ja niiden tulenkestävyys on testattava. Kumityynyissä normaalisti käytettävä luonnonkumin ja styreenibutadienikumin (NR/SBR) seos ei täytä tulenkestävyyden vaatimuksia, joten näiden tilalle tulee etsiä tulenkestävästä materiaalista valmistetut kumityynyt. Saatavilla olevista kumityynyn materiaaleista siliikonikumi täyttää tulenkestävyyden vaatimukset. Lisäksi siliikonikumi täyttää muut käyttöä rajoittavat vaatimukset, kuten öljyjen keston, käytettävän lämpötila-alueen sekä vaihtelevat sääolot [24]. Tulenkestävyyttä mitattaessa käytetään standardissa EN ISO 340

määritettyä propaanikaasua ja testausjärjestelmää, jossa määritellään liekin lämpötilaksi 1000 °C ja sisemmän liekin pituuden tulee olla noin 50 mm ja kohdistua mitattavan kappaleen reunaan [25, s. 3–4]. Tulenkestävyyden mittausraportti löytyy liitteestä F.

Seuraavassa kappaleessa vertaillaan perusmallisten pumppujen rakennetta ja toimintaa suhteessa edellä esitettyihin ATEX direktiivin vaatimuksiin ja pyritään löytämään ratkaisut, jotka täyttävät nämä vaatimukset.

### 5.1.1 Vaatimusten aiheuttamat muutokset laitteille

Lämpötilaluokitukset eivät aiheuta muutoksia laitteiden rakenteille, mutta ne rajoittavat kuitenkin laitteen mahdollisia käyttökohteita. Perusmalliset, eli ilman vapaakiertoventtiiliä olevat pumput soveltuvat tiloihin, joissa laitteen suurin sallittu pintalämpötila on maksimissaan 85 °C. Vapaakiertoventtiiliä käyttävät mallit, eli PA- ja ST- pumput soveltuvat tiloihin, joissa laitteen suurin sallittu pintalämpötila on 100 °C. Vapaakiertoventtiileillä varustettuja malleja ei ole saatavilla yli 520 baarin paineilla, jolloin HPW800, HPW1000, HPW1200 sekä HPW1600 pumpuista ei ole PA- tai ST-malleja. HPW300 malliin ei myöskään ole saatavilla vapaakiertoventtiiliä, johtuen pumpun suuresta vedentuotosta. Kuvassa 16 on HPW800/30-140 korkeapainevesipumppu, johon ei ole saatavilla vapaakiertoventtiiliä, mutta tarvittaessa veden tuoton lopettaminen voidaan toteuttaa myös hydraulikan ohjauksella erilaisten venttiilien avulla riippuen käyttökohteesta ja halutuista ominaisuuksista.



**Kuva 16. HPW800/30-140 [18].**

Kaikissa kaivoksissa, eli ryhmän I tiloissa käytettävissä pumpuissa kumityynyinä käytetään tulenkestäviä silikonikumityynyjä normaalien kumityynyjen sijasta. Ryhmän II laitteissa voidaan käyttää normaaleja kumityynyjä, koska vaatimus tulenkestävyydestä koskee ainoastaan ryhmän I laitteita.



Kaikki pumput on varustettava maadoitusliittimillä, jotta pumpun pintaan ei pysty muodostumaan vaarallista sähköstaattista varausta, koska pumput on yleensä kiinnitetty kumityynyjen välityksellä muuhun rakenteeseen. Jokaisesta pumpusta löytyy paikka maadoitusliittimen kiinnittämiseen, tämä paikka on ilmoitettu jokaisen pumpun käyttöohjeessa.

HPW 200/30-45 on suosituin korkeapainevesipumppu malli, joten tämän mallin tulee täyttää ryhmien I ja II vaatimukset. Perusmalli on rungoltaan ja päädyiltään alumiinia, kiinnityspultteina käytetään sinkittyjä pultteja ja kanavien tulppina sinkki- nikkeli pinnoitettuja tulppia. Alumiinin kanssa voidaan käyttää vain ruostumattomia osia ryhmän II laitteissa, jotta vältetään mekaanisten kipinöiden vaara. Tällöin sinkittyjen pulttien ja tulppien tilalla pitää käyttää korkeakromisia ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia, joita tässä tapauksessa ovat A4 luokan HST pultit ja tulpat. Myös vapaakiertoventtiilin putken ja liittimien tulee olla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja.

Alumiinirunkoinen pumppu ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi ryhmän I laitteissa, koska laitteen ulkoiset osat eivät saa sisältää yli 15 % alumiinia materiaalin massasta. Tässä tapauksessa alumiininen runko ja päädyt korvataan alumiinipronssisilla osilla, jotka täyttävät ryhmän I materiaalivaatimukset. PT-laippana käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettua laippaa alumiinisen PT-laipan sijasta.

HPW420/20-50 perusmallin pumppu on valmistettu martensiittisestä ruostumattomasta teräksestä, joka on soveltuva käytettäväksi myös räjähdysvaarallisessa tilassa. Myös HPW420 pumpun PT-laippa vaihdetaan alumiinisesta teräksiseen malliin. Tässä pumpussa voidaan käyttää sinkittyjä pultteja ja tulppia, koska pumppu ei sisällä alumiinisia osia. Tämä pumppu soveltuu käytettäväksi myös ryhmän I tiloihin. PA-mallissa vapaakiertoventtiilikokoonpano soveltuu sellaisenaan käytettäväksi ryhmän I ja II tiloissa, johtuen sen teräksisestä rakenteesta.

HPW 220/50-70 on ulkoisilta osiltaan alumiininen pumppu, jolloin täytyy käyttää A4-luokiteltuja HST pultteja ja tulppia samoin kuin HPW200/30-45 korkeapainevesipumpussa. Tämä versio ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi ryhmän I tiloissa, johtuen alumiinisesta rakenteesta. Ryhmän I tiloihin soveltuvassa korkeapainevesipumpussa alumiiniset osat korvataan alumiinipronssisilla osilla lukuun ottamatta PT-laippaa, joka korvataan teräksisellä mallilla. PA-mallin vapaakiertoventtiilikokoonpanon putkina ja liittiminä käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia ryhmän II laitteissa, jotta vältetään mekaanisten kipinöiden aiheuttamalta syttymisvaaralta. Vapaakiertoventtiilikokoonpanossa voidaan käyttää sinkittyjä osia ryhmän I laitteissa, koska ryhmän I korkeapainevesipumppu ei sisällä lainkaan alumiinisia osia.

HPW90/150-85 pumpun ulkoiset osat on valmistettu alumiinista ja sinkitystä teräksestä. Tällöin keskirungon materiaali täytyy vaihtaa sinkitystä teräksestä ruostumattomaan teräkseen, täyttääkseen ryhmän II laitteiden vaatimukset mekaanisista kipinöistä. Lisäksi

myös kaikkien pulttien ja tulppien tulee olla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja. Ryhmän I vaatimusten vuoksi pumpun kaikki alumiiniset osat on korvattava teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla osilla. Tätä varten tulee suunnitella uudelleen pääty sekä imu- ja painesarjat, koska näitä ei toistaiseksi ole saatavina kuin alumiinisenä. Uusien osien valmistusmateriaalina täytyy käyttää ruostumatonta terästä korroosion estämiseksi, koska nämä osat ovat kosketuksissa pumpattavan nesteen kanssa, joka on useimmiten vettä. Tällöin keskirunkona voidaan käyttää sinkitystä teräksestä valmistettua mallia. PA-mallissa vapaakiertoventtiilikokoonpanona käytetään standardi mallia ryhmän I laitteissa ja ryhmän II laitteissa ruostumattomilla liittimillä sekä putkilla varustettua mallia, koska tämä malli sisältää alumiinisia osia.

HPW520/30-85 pumpun runko ja päädyt on valmistettu martensiittisesta ruostumattomasta teräksestä. Tämä pumppu ei sisällä lainkaan alumiinisia osia, joten pumpussa voidaan käyttää sinkittyjä pultteja ja tulppia. Myös PT-laippana voidaan käyttää sinkitystä teräksestä valmistettua perusmallia. Tällöin pumppu soveltuu sellaisenaan käytettäväksi ryhmän I ja II tiloissa. PA-mallin vapaakiertoventtiilikokoonpanossa liittimet ja putket ovat perusmallissa ruostumattomasta teräksestä valmistettuja, jolloin sitä voidaan käyttää sellaisenaan ryhmän I ja II laitteissa. Ainoa pakollinen muutos tässä mallissa on kumityynyjen vaihtaminen tulenkestävään malliin ryhmän I pumpuissa sekä maadoitusliittimen lisääminen pumppuun.

HPW180/90-115 korkeapainevesipumpussa keskirunko on sinkittyä terästä ja vesipäädyt sekä imu- ja painesarja on valmistettu alumiinista. Pumpussa käytetään sinkittyjä tulppia ja pultteja, joten pumppua ei voi tällaisenaan käyttää räjähdysvaarallisissa tiloissa. Pumpussa käytetään samaa keskirunkoa kuin HPW90/150-85 mallissa, jolloin myös tässä pumpussa on järkevintä vaihtaa keskirunko RST malliin. Tällöin täytyy myös pulttien ja tulppien olla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja. Tämä rakenne täyttää ryhmän II laitteiden vaatimukset. Ryhmän I vaatimusten täyttämiseksi, tulee pumpun alumiiniset osat korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla osilla, mutta tällöin keskirunko, tulpat ja pultit voivat olla sinkitystä teräksestä valmistettuja. Vesipäätä, imu- ja painesarjaa ei ole saatavilla kuin alumiinisenä, joten näiden tilalle tulee suunnitella uudet osat, jotka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Ryhmän I mallissa voidaan käyttää perus vapaakiertoventtiilikokoonpanoa PA-mallissa, koska tämä ei sisällä alumiinia. Ryhmän II PA-mallissa vapaakiertoventtiilin putket ja liittimet tulee korvata RST osilla.

HPW460/50-115 korkeapainevesipumpun perusmallin ulkoiset osat koostuvat alumiinista, martensiittisesta ruostumattomasta teräksestä ja sinkitystä teräksestä. Helpoin ratkaisu räjähdysvaarallisten tilojen vaatimusten täyttämiseksi on vaihtaa alumiininen imusarja ruostumattomasta teräksestä valmistettuun malliin. Tällöin pumppu ei sisällä alumiinisia osia ja täyttää täten ryhmien I ja II vaatimukset. PA-mallissa vapaakiertoventtiili, putket ja liittimet ovat ruostumattomasta teräksestä valmistettuja perusmallissa, jolloin tämä malli soveltuu sellaisenaan käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa.

HPW130/180-140 korkeapainevesipumpussa on alumiiniset imu- ja painesarjat sekä sinkitystä teräksestä valmistettu keskirunko. Vesipäädyt on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Täyttääkseen räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset, täytyy alumiinista valmistetut imu- ja painesarjat korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla versioilla. Tällöin pumpppu täyttää ryhmien I ja II vaatimukset. Myös PA-säätimellä varustettu malli soveltuu sellaisenaan käytettäväksi ryhmissä I ja II, koska vapaakiertoventtiili, putket ja liittimet eivät sisällä alumiinisia osia.

HPW800/30-140 korkeapainevesipumpun ulkoiset osat on tehty sinkitystä teräksestä sekä ruostumattomasta teräksestä. Koska pumpun ulkoiset osat eivät sisällä alumiinia, tämä pumpppu soveltuu käytettäväksi tällaisenaan ryhmän I ja II tiloissa, kunhan ryhmän I laitteessa käytetään tulenkestäviä kumityynyjä.

HPW1000/30-140 korkeapainevesipumppu on suurimmaksi osaksi valmistettu ruostumattomasta teräksestä sekä sinkitystä teräksestä. Alumiinisia osia on ainoastaan sylinterikotelo sekä imusarja. Nämä osat korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla osilla, jolloin pumpppu täyttää ryhmien I ja II vaatimukset.

HPW1600/15-140 pumpun rakenne on vastaava kuin HPW1000/30-140 pumpulla, joten myös tässä mallissa sylinterikotelo sekä imusarja korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla malleilla. Tällöin pumpppu täyttää ryhmien I ja II vaatimukset. HPW1600 ja HPW1000 korkeapainevesipumppuihin ei ole saatavilla vapaakiertoventtiilillä varustettua PA-mallia, kuten ei myöskään HPW800 pumpppuun, johtuen korkeasta vedenpaineesta.

HPW300/300-350 korkeapainevesipumppu edustaa suurinta kokoluokkaa Dynasetin valikoimasta. Pumpun paino on noin 170 kg ja se on valmistettu sinkitystä ja ruostumattomasta teräksestä. Pumpun ulkoisista osista imusarja on valmistettu alumiinista. Korvaamalla alumiininen imusarja ruostumattomasta teräksestä valmistetulla imusarjalla, saadaan pumpppu täyttämään ryhmien I ja II vaatimukset. Uusi imusarja täytyy ensin suunnitella, koska sellaista ei ole vielä saatavilla. HPW300/300-350 korkeapainevesipumppu esiintyy kuvassa 17, se tuottaa painetta 300 bar ja vesivirtausta 300 l/min, jolloin sen vesiteho on 150 kW.



***Kuva 17. Dynaset Oy:n suurin vesipumppu, HPW300/300-350 [18].***

HPW1200/100-440 pumppu on ulkomitoiltaan ja painoltaan lähellä HPW300/300-350 pumppua. Pumput ovat rakenteeltaan samankaltaisia, tosin HPW 1200 huomattavasti suuremman vesipaineen johdosta painekanavat ja vesiventtiilit poikkeavat selvästi HPW300 pumpusta. HPW1200 pumpussa on alumiinisia osia imusarjan lisäksi vesisylinterikotelo. Täyttääkseen räjähdysvaarallisten tilojen ryhmien I ja II vaatimukset, alumiiniset osat korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla malleilla. Vesisylinterikotelo ja imusarja tulee suunnitella uudelleen ja niissä käytetään materiaalina ruostumattonta terästä, jolloin pumppu täyttää ryhmien I ja II vaatimukset.

HDF40/40-8 porausnestepumppu on suurimmaksi osaksi valmistettu alumiinisista osista sekä messinkisistä sylinteriholkeista. Kiinnitykseen käytetään sinkittyjä pultteja ja tulppina haponkestävästä teräksestä valmistettuja tulppia. Täyttääkseen ryhmän II vaatimukset, tulee kaikki sinkityt pultit korvata haponkestävästä teräksestä valmistetuilla pulteilla. Ryhmän I vaatimukset täyttävään pumppuun kaikki alumiinista valmistetut osat tulisi korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla osilla. Nämä vaatimukset täyttävä

pumppu päätettiin olla toteuttamatta toistaiseksi, johtuen uusien osien suuresta määrästä ja korkeista valmistuskustannuksista.

HDF180/23-35 pumpussa käytetään samoja osia kuin HPW200/30-45 pumpussakin. Alumiinirunkoisessa pumpussa kanavien tulppina käytetään jo perusmallissa HST tulppia, joten näitä ei tarvitse päivittää. Perusmallissa käytetään sinkittyjä pultteja, mutta yhdessä alumiinisten osien kanssa nämä eivät täytä ryhmän I ja II vaatimuksia. Kun sinkityt pultit korvataan HST pulteilla, pumppu täyttää ryhmän II vaatimukset. Ryhmän I vaatimukset täyttääkseen pumpun alumiininen runko ja päädyt korvataan alumiinipronssista valmistetuilla osilla ja alumiininen PT-laippa korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetulla mallilla.

HDF200/40-55 pumppu koostuu alumiinisesta keskirungosta, päädyistä sekä PT-laipasta sekä sinkityistä pulteista ja haponkestävästä teräksestä valmistetuista tulpista. Ryhmän II vaatimuksia varten pumpusta vaihdetaan sinkityt pultit HST pultteihin. Myös vapaakier-toventtiilin sinkityt putket ja liittimet korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla versioilla. Täyttääkseen ryhmän I vaatimukset, korvataan päädyt ja keskirunko alumiinipronssista valmistetuilla osilla sekä alumiininen PT-laippa RST PT-laipalla.

HDF90/150-85 pumpussa käytetään alumiinisia osia sekä teräksistä keskirunkoa. Keskirunko täytyy korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetulla versiolla, jotta pumppu täyttää ryhmän II vaatimukset. Lisäksi myös sinkityt pultit korvataan HST pulteilla. Täyttääkseen ryhmän I vaatimukset, tulee pumpun kaikki alumiiniset osat korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla versioilla kuten HPW90/150-85 pumpussa.

HDF160/70-90 porausnestepumppu on ulkoisilta osiltaan sama kuin HPW180/90-115 pumppu lukuun ottamatta tulppia, jotka ovat tässä pumpussa valmiiksi haponkestävästä teräksestä valmistettuja. Samoin kuin HPW180 pumpussa, myös tässä pumpussa korvataan teräksinen keskirunko ruostumattomasta teräksestä valmistetulla keskirungolla sekä vaihdetaan sinkityt pultit HST pultteihin. Tällöin pumppu täyttää ryhmän II vaatimukset. Ryhmän I vaatimuksia varten tulee päädyt, imu- ja painesarjat korvata ruostumattomasta teräksestä valmistetuilla osilla. Myös PT-laippa korvataan ruostumattomasta teräksestä valmistetulla mallilla.

HDF200/250-280 pumpussa käytetään samoja ulkoisia osia kuin HPW300/300-350 pumpussa. Tällöin riittää alumiinisen imusarjan korvaaminen ruostumattomasta teräksestä valmistetulla imusarjalla, jolloin HDF200/250-280 porausnestepumppu täyttää ryhmien I ja II vaatimukset.

### 5.1.2 Muutosten aiheuttamat dispositiot

HPW90, 180, 300 ja 1200 korkeapainevesipumput vaativat uusien osien suunnittelua, jotta pumput täyttävät räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset. Näissä pumpuissa tarvitssee alumiinista ja sinkitystä teräksestä valmistettujen osien tilalle suunnitella uudet osat, jotka täyttävät räjähdysvaarallisten tilojen vaatimukset. Yksinkertaisin tapa on suunnitella uusi kappale nykyisen osan pohjalta, jossa käytetään materiaalina tässä tapauksessa ruostumatonta terästä. Ruostumatonta terästä on useaa eri vaihtoehtoa, joista suunnittelun tulee valita kustannustehokkain vaihtoehto, joka täyttää myös tarvittavat materiaalin mekaaniset ominaisuudet. Käytettäessä samankaltaisia osia pohjana uusista materiaaleista valmistettaville osille, saadaan uusien osien valmistuskustannukset todennäköisesti pidettyä edullisempina, koska tällöin uusien osien suunnittelu-aika on lyhyempi ja lisäksi osien valmistusmenetelmät ovat ennestään tuttuja alihankkijoille.

Uusia pumppumalleja luodessa suunnittelu kuormittuu uusien tuotteiden, rakenteiden ja osien suunnittelemisesta. Suunnittelun lisäksi uusille osille, tuotteille ja rakenteille tulee luoda koodit ja ohjaustiedot erp-järjestelmään. Myös varaosien suunnittelu ja varaosalistojen luonti uusille korkeapainevesipumpuille kuuluvat suunnittelun tehtäviin. Lisäksi suunnittelun tulee kouluttaa ja opastaa tuotantoa ja myyntiä uuden tuotteen toiminnasta, valmistamisesta ja erikoisvaatimuksista. Myös viranomaisille toimitettavan dokumentaation tuotto ja ylläpito ovat suunnittelun vastuulla.

Suunnittelun ja tuotannon tulee yhdessä suunnitella ja toteuttaa tyyppikilpiin tehtävät muutokset, ATEX direktiivin vaatimat tiedot ja merkinnät laitteen soveltuvuudesta räjähdysvaarallisiin tiloihin. Pakollisia tietoja tyyppikilvessä ovat CE- ja Ex-merkinnät sekä laiteluokkaa kuvaavat merkinnät. Kuvassa 18 on esitetty esimerkki ATEX hyväksytyn pumpun tyyppikilvestä.



**Kuva 18. ATEX tyyppikilpi.**

Myyntiosaston tulee opetella ja sisäistää uudet tuotteet ja tuotteisiin liittyvät vaatimukset sekä lainsäädäntö, jotta he osaavat tarjota oikeanlaisia tuotteita räjähdysvaarallisiin tiloihin asiakkaan spesifikaatioiden perusteella. Lisäksi myyntiosaston tehtävänä on määrittää uusille tuotteille hinnat sekä tuottaa tarvittavat dokumentit markkinointiin ja myyntiin. Lisäksi asiakkaiden tiedottaminen uusista tuotteista sekä tuotteiden markkinointi on myyntiosaston vastuulla.

Ostajien tarvitsee etsiä ja kilpailuttaa kaikille uusille osille toimittajat, hinnat ja toimitusajat. Lisäksi ostajat määrittelevät varastossa pidettävien osien saldot, hälytysrajat ja tilausmäärät yhdessä tuotannon esimiesten kanssa. Ostajien tulee myös huomioida varastossa olevien osien lisääntynyt kulutus ja tämän pohjalta määritellä uudelleen tilauspiste ja tilausmäärä sekä mahdollisesti neuvotella toimittajan kanssa osien hinnasta uusilla tilausmäärillä.

Tuotannon esimiesten tulee määrittää uusille tuotteille valmistuspaikat, valmistusaika, tarvittavat henkilöstöresurssit sekä valmistusvaraston saldot tuotteille. Myös uusien osien sijoittelu valmistussoluihin tulee suunnitella ja tarvittaessa toteuttaa uusi valmistusosuus tai tuotantolinjat kyseisille tuotteille. Tuotannon esimiehet myös opastavat ja kouluttavat uusien tuotteiden valmistuksen, testauksen ja dokumentoinnin työntekijöille sekä ohjaavat tuotteiden valmistusta, jotta tuotteet valmistuvat aina ajallaan. Tuotannon työntekijöiden vastuulla on uusien mallien rakenteiden, kokoonpanoprosessin sekä testauksen opettelu, jotta tuotannosta saadaan tehokasta ja laadukasta.

Varaston tehtävänä on järjestää uusille komponenteille ja valmiille tuotteille hyllypaikat sekä vastaanottaa ja tarkastaa saapuvat komponentit. Joitakin osia käytetään ennestään tuotannossa, jolloin näille on hyllypaikat valmiina. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi HST tulpat, joita käytetään HDF malleissa vakiona. HST pultteja ei toistaiseksi ole

käytössä kuin satunnaisia kokoja, joten uusille pulteille tarvitaan omat varastopaikat. Varastoitavia uusia komponentteja ovat ruostumattomasta teräksestä valmistetut imu- ja painesarjat sekä vesipäädyt niistä malleista, joista ei aiemmin ollut saatavilla AIS-mallia. Varaston tulee hallita kasvava varastointinimikkeiden määrä sekä tarvittava tila uusille tuotteille. Uudet osat kasvattavat myös varaston arvoa.

ATEX hyväksytyjen pumppujen valmistuskustannukset kasvavat huomattavasti perusmalleihin verrattuna, koska haponkestävät A4 pultit ja tulpat ovat hinnaltaan noin kolminkertaiset sinkittyihin osiin verrattuna. Osassa pumppumalleja on perusmalleissakin HST tulpat, jolloin kustannusten nousu pysyy maltillisempuna. Pumppujen omakustannehintaan pulttien ja tulppien vaihtumisella ei ole suurta merkitystä johtuen niiden alhaisesta hinnasta verrattuna pumpun muiden osien hintaan. Toisissa pumpuissa valmistuskustannukset nousevat huomattavasti enemmän, koska alumiinisten osien hinta verrattuna ruostumattomasta teräksestä valmistettujen osien hintaan on noin kolminkertainen johtuen materiaalin korkeammasta hinnasta ja koneistusmenetelmistä. Lisäksi uusien osien varastointi sekä perusmalleja tarkempi laadunvalvonta lisäävät tuotteiden kustannuksia. ATEX pumppujen sertifiointimaksut, dokumenttien laatiminen sekä ylläpito kasvattavat kustannuksia, jotka tulee ottaa huomioon tuotteiden hintaa muodostettaessa. Lisäksi hinnoittelussa tulee huomioida sertifiointin mukanaan tuoma vastuu ja korvausvelvollisuus mahdollisissa onnettomuustilanteissa, jotka johtuvat valmistajan laitteesta.

Toimittaessa räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettuja pumppuja pitää direktiivin mukaisesti pakettiin liittää vaaditut dokumentit asennuksesta, käytöstä, huolloista sekä todistus laitteen kelpoisuudesta räjähdysvaarallisiin tiloihin.

Asennuksissa huomioitavia muutoksia perusmalleihin verrattaessa on pakollisen potentiaalintasausjohtimen asentaminen pumppuun, jotta pumppuun ei voi muodostua vaaraa aiheuttavaa staattista sähkövarausta. Lisäksi pumpun asennuspaikka ja valmistusmateriaalit tulee huomioida pumppua asennettaessa, jottei materiaaliyhdistelmistä muodostu vaarallisia kemiallisia pareja tai pumppu pääse käydessään aiheuttamaan mekaanisia iskuja tai hankausta. Asiakkaille toimitettavissa dokumenteista löytyy ohjeistus oikealle asennukselle.

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen pumppujen käyttö on identtistä verrattuna vakiomalleihin. Sinkittyjen osien korvaaminen HST osilla parantaa pumpun korroosionkestoa ja täten myös pumpun käyttöikä pitenee. Käytettäessä haponkestäviä pultteja, tulppia sekä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja osia, saadaan pumpun korroosionkestoa parannettua, jolloin myös pumpun huoltotarve vähenee. Toisaalta huoltojen määrä lisääntyy ja huoltoväli lyhenee, jotta voidaan varmistua pumpun moitteettomasta toiminnasta räjähdysvaarallisissa tiloissa. Päivittäisiin tarkastuksiin kuuluu mahdollisten vuotojen tarkastaminen sekä silmämääräinen tarkistus pumpun kunnosta. Lisäksi pumpun pinnat tulee puhdistaa työvuoron jälkeen, jottei pumpun pinnalle pääse kerääntymään likaa tai pölyä, joka voisi aiheuttaa pumpun pinnalle staattisen sähkövarauksen.



## 5.2 Mekaanisten laitteiden ominaisuuksien parantaminen

Räjähdyksvaarallisiin tiloihin tarkoitetut pumpput edustavat Dynasetin HPW tuoteperheen korkeinta laatua. Tästä syystä pumppujen valmistamiseen käytetään parhaita mahdollisia komponentteja ja materiaaleja. Suunnittelun valitessa komponentteja, tulee huomioida laitteen halutut ominaisuudet sekä käyttökohteet. Myös ATEX direktiivin vaatimukset tulee huomioida valittaessa komponentteja pumppuihin.

Pumppujen ominaisuuksia parannettaessa pyritään samalla myös huomioimaan ATEX mallien rakenteiden yhdenmukaisuus, jotta laitteiden valmistaminen ja laaduntarkkailu olisi tehokkaampaa ja vaivattomampaa. Muutoksia tehdessä pyritään optimoimaan universaalien hyveiden, eli kustannusten, laadun, läpimenoajan ja tehokkuuden muodostama kokonaisuus ja parantamaan tätä kokonaisuutta mahdollisimman paljon.

### 5.2.1 Tehdyt muutokset tuotteen ominaisuuksien parantamiseksi

Laitteiden yhdenmukaistamiseksi ja pumppujen laadun parantamiseksi korvataan kaikki sinkki- nikkelpinnoitetut tulpat haponkestävästä teräksestä valmistetuilla A4 luokan tulvilla. Suurin osa näistä tulpista on yhteydessä pumpattavaan nesteeseen ja osa tulpista on yhteydessä hydraulineesteeseen, jolloin korroosion muodostuminen saattaa olla erittäin voimakasta. Selkeyden vuoksi kaikki tulpat vaihdetaan haponkestäviin tulppiin, jottei vahingossa tapahdu väärinymmärryksiä mihin kuuluu normaalit tulpat ja mihin haponkestävät tulpat.

Vapaakiertoventtiilien vesiputkissa käytetään haponkestävää terästä, jotta vesi ja muut pumppausnesteet eivät syövytä putkea. Myös venttiilin ja putkien liittämiseen tarvittavissa liittimissä käytetään A4 luokan haponkestävää terästä. Vapaakiertoventtiilit on valmistettu ruostumattomasta teräksestä sekä joissakin malleissa messinkiseoksesta, jolloin nämä sopivat sellaisenaan käytettäväksi haponkestävien liittimien kanssa.

Pumppujen ulkoisissa osissa vaaditaan useissa malleissa käytettäväksi ruostumattomasta teräksestä valmistettuja pultteja, johtuen pumpun osien alumiinisista osista. Korroosion vähentämiseksi korvataan loputkin teräspultit A4 luokan haponkestävillä pulteilla. Kaikkia pultteja ei voida korvata HST pulteilla, koska näiden pulttien lujuus ei ole riittävä. Normaalisti käytettävien A4 luokan HST pulttien lujuusluokka on 80, joka vastaa 8.8 lujuusluokan sinkittyjä pultteja. Joissakin pumppumalleissa vaaditaan 12.9 lujuusluokan pultteja, jotta pumpun rakenne kestää suuren paineen muodostamat jännitykset. Tällöin nämä pultit pinnoitetaan korroosiolta suojaavalla teflonpinnoitteella.

Laiteluokan I laitteissa käytetään tulenkestäviä kumityynyjä, jotta pumpput täyttävät kaivosolosuhteiden ATEX vaatimukset. Laiteluokan II pumpuissa ei standardien mukaan vaadita tulenkestäviä kumityynyjä, mutta variaatiovaihtoehtojen vähentämiseksi ja kokoonpanon yksinkertaistamiseksi myös näihin pumppuihin valitaan tulenkestävät kumityynyt.

### 5.2.2 Parannusten aiheuttamat dispositiot

Suunnittelussa tulee huomioida kalliimpien osien käytöstä johtuva valmistuskustannusten kasvu. Kalliimmat ja paremmin korroosiota sekä tulta kestävät osat kasvattavat hintaa, mutta vastaavasti parantavat myös laatua ja käytettävyyttä sekä pidentävät käyttöikää. Osia valitessa tulee arvioida vaikutusten suuruutta ja verrata vaikutusta kokonaisuuteen. Tulppien, ruuvien ja liittimien päivittäminen hieman kalliimpiin ja laadukkaampiin osiin ei juurikaan vaikuta korkeapainevesipumppujen valmistuskustannuksiin, koska suurin osa tuotteen hinnasta syntyy koneistettavista osista, joiden materiaalit, valmistusmenetelmät ja hinnoittelu on jo pyritty optimoimaan. ATEX tuotteita tarkastellessa suurempi merkitys on laadulla kuin hinnalla, jolloin ruostumattomien ja haponkestävien osien käyttö on perusteltua. Myös syttymisvaaran riski pienenee, jolloin kokonaisuutena arviotuna hyveet kasvavat.

ATEX hyväksytyt tuotteet ovat huomattavasti arvokkaampia kuin standardituotteet, joihin vaadituista testauksista ja dokumentoinnista. Suuri osa hinnan noususta verrattuna perustuotteeseen koostuu dokumentaation valmistamisesta ja ylläpitämisestä sekä vastuun kantamisesta, joka seuraa valmistajaa ATEX hyväksynnän käyttämisestä laitteessa. Kun tuotteessa on ATEX hyväksyntä, on laitteen valmistaja vastuussa tuotteen käyttämisestä räjähdysvaarallisessa tilassa ja mahdollisista seuraamuksista, jos tuotteen todetaan aiheuttaneen räjähdyspuutteellisen suojauksen johdosta.

Kun pumpuissa käytetään paljon haponkestäviä pultteja, tulppia ja putkea, saadaan näiden ostohintoja laskettua alemmas suurempien ostoerien avulla. Tämä nopeuttaa varaston kiertonopeutta ja helpottaa ostajien työtä. Samankaltaiset tuoterakenteet lisäävät tuotannon tehokkuutta, kun asentajien ei tarvitse muistella tai tarkastaa, kuuluuko tähän tiettyyn malliin tavalliset vai haponkestävät pultit ja tulpat. Samalla väärin osien asentamisen riski pienenee, kun eri ATEX-mallit ovat rakenteiltaan samankaltaisia.

Tuotannon kannalta kaikki normaaleista malleista poikkeavat tuoterakenteet ovat haasteellisia, tällöin laitteiden kokoonpanijan tulee muistaa kaikkien tuotteiden erikoisvaatimukset. Tästä syystä ATEX-laitteiden rakenteista pyritään tekemään mahdollisimman yhtenäisiä, jolloin pyritään käyttämään ainoastaan ruostumattomasta teräksestä valmistettuja pultteja ja tulppia, sekä suurta lujuutta vaativissa pulteissa korroosiolta suojattuja 12.9 lujuusluokan pultteja. Kaikissa ATEX-malleissa käytetään tulenkestäviä kumityynyjä huolimatta niiden korkeammasta ostohinnasta, jottei tuotannossa pääse tapahtumaan sekaannusta ryhmien I ja II välillä käytettävästä kumityynystä.

Omakustannehintaan vaikuttaa suoraan laitteissa käytettävät materiaalit, jolloin ruostumattoman teräksen korkeammasta hinnasta johtuen ATEX-laitteiden omakustannehinnat ovat myös huomattavasti korkeammat kuin perusmalleilla. Tulenkestävät kumityyny ja maadoitusliitännät korottavat myös omakustannehintaa hieman. Lisäksi dokumentoinnin ylläpidosta johtuvat kustannukset tulee huomioida ATEX-pumppujen omakustannehinnassa. Korkeammasta omakustannehinnasta ja ATEX-dokumentoinnin hallinnoimisesta johtuen ATEX-laitteiden myyntihinnat ovat selvästi korkeammat, kuin perusmallisten pumppujen myyntihinnat.

Markkinoinnin tehtävinä on uusien tuotteiden mainostaminen messuilla, kotisivuilla, sosiaalisessa mediassa sekä erilaisissa julkaisuissa. Lisäksi markkinointi tuottaa käyttöohjeet, datalehdet ja markkinointimateriaalit yhdessä suunnittelun kanssa. ATEX-direktiivin vaatimusten mukaisesti laitteiden käyttöohjeista tulee löytyä normaalia käyttöohjetta tarkempia tietoja laitteiden käyttöolosuhteista sekä niiden toiminnasta, jotta voidaan varmistua laitteen oikeasta ja turvallisesta käytöstä.

## 6. TULOSTEN ARVIOINTI

Tämä diplomityö toteutettiin tuotekehitysprojektina, jonka lähtökohtana oli selvittää ja toteuttaa vaadittavat toimenpiteet hydraulisesti toimivien korkeapainevesipumppujen tuoteperheelle, jotta nämä saataisiin täyttämään kansainvälisen ATEX-direktiivin vaatimukset. Tuotekehitysprojektissa käytettiin laadullista tutkimusta, jota analysoitiin dispositiomenetelmällä, jonka avulla tutkitaan muutosten vaikutusta tuotteen ominaisuuksiin sekä yrityksen eri toimintoihin.

Työssä esitetyt tutkimuskysymykset ovat: Mitkä Dynaset Oy:n tuotteet ovat mahdollisia saada hyväksytyiksi räjähdysvaaralliseen tilaan? Mitä muutoksia standardituotteet vaativat täyttääkseen ATEX-hyväksynnän vaatimukset? Miten uuden tuoteperheen suunnittelu vaikuttaa yrityksen muihin toimintoihin?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen liittyen aihetta rajattiin alussa koskemaan vain HPW ja HDF tuotteita. Kappaleen 5 perusteella voidaan todeta kaikkien HPW ja HDF mallien olevan mahdollista saavuttaa tavoiteltu ATEX-hyväksyntä.

Työn tuloksena saatiin selvät rajoitukset pumpuissa sallittavista valmistusmateriaaleista sekä käytettävistä materiaaalipareista, jotta saavutetaan riittävä turvallisuus räjähdysvaarallisissa tiloissa. Näiden rajoitusten pohjalta muodostettiin alustavat rakenteet jokaiselle tuoteperheen tuotteelle, jotka halutaan hyväksyttää räjähdysvaarallisiin tiloihin soveltuviksi. Alustavien rakenteiden pohjalta on helppo muodostaa täydelliset rakenteet valmistettaville tuotteille, kun kaikki tarvittavat osat on suunniteltu ja niille on luotu koodit erpp-järjestelmään. Rakenteissa käytetään mahdollisuuksien mukaan jo ennestään käytettäviä komponentteja, jottei tuoteavaruutta ja varastoa tarvitse kasvattaa.

HPW pumpuissa käytettävät mallit voidaan jakaa rakenteen perusteella kahteen ryhmään, joista toinen on kaivoksissa käytettäväksi tarkoitetut mallit, joiden tulee täyttää ryhmän I laiteluokan M2 vaatimukset. Toiseen ryhmään kuuluvat yleisesti teollisuudessa käytettävät ryhmän II laiteluokan 2 laitteet. Kaivoksissa käytettävissä malleissa ei saa olla alumiinista valmistettuja ulkoisia osia ja lisäksi kaikkien yli 1 kg painavien ei-metallisten osien tulee olla tulenkestävästä materiaalista valmistettuja.

Kaivoksissa käytettävien ryhmän I laiteluokan M2 laitteet koostuvat ulkoisilta osiltaan sinkitystä teräksestä sekä ruostumattomasta teräksestä. Poikkeuksellisesti HPW200/30-45 pumppu on valmistettu alumiinipronssista ja ruostumattomasta teräksestä. Kaikissa laiteluokan M2 laitteissa käytetään tulenkestävästä silikonikumista valmistettuja kumityynyjä, jos pumpussa kumityyny tarvitaan.

Ryhmän II laiteluokan 2 laitteissa voidaan käyttää alumiinisia osia toisin kuin ryhmän I laitteissa. Räjähdysvaaran estämiseksi alumiinisten osien yhteydessä ei voida käyttää teräksestä valmistettuja osia, jottei alumiinin ja ruosteen keskinäisestä reaktiosta syntyviä kylmiä kipinöitä voi muodostua. Korkeakromista ruostumatonta terästä voidaan käyttää yhdessä alumiinin kanssa, koska se ei ruostu. Tästä syystä ryhmän II räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetuissa laitteissa käytetään samoja komponentteja kuin perusmallissa lukuun ottamatta kaikkia teräksestä valmistettuja osia, jotka korvataan ruostumattomasta teräksestä tai haponkestävästä teräksestä valmistetuilla osilla.

Toiseen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus vertailemalla kappaleessa 5 saatuja rakenteita lähtökohtana olevien mallien rakenteisiin: ATEX-hyväksytyt laitteet eivät vaatineet suuria muutoksia rakenteisiin verrattuna saatavilla oleviin malleihin. Aiemmin saatavilla olevia malleja ovat standardimallien lisäksi alumiinia sisältämättömät AIS-mallit, alumiinipronssiset AB-mallit, laivoissa ja merellä käyttöön tarkoitettut marine-mallit sekä vedenalaisiin sovelluksiin käytettävät SUB-mallit. Suurin osa ATEX-hyväksynnän täyttävien korkeapainevesipumppujen rakenteesta saavutettiin yhdistelemällä olemassa olevien mallien osia, sekä korvaamalla palavista materiaaleista valmistetut kumityyppiset tulenkestävästä materiaalista valmistetuilla malleilla.

Dispositiomenetelmän avulla pystyttiin hyvin havainnoimaan tuotekehitysprosessissa suoritettujen valintojen vaikutuksia tuotteen ominaisuuksiin sekä yrityksen eri toimintoihin. Suunnittelun lähtökohtana oli toteuttaa kaikki vaadittavat muutokset laitteille, jotta ne täyttävät räjähdysvaarallisten tilojen asettamat vaatimukset. Tämän lisäksi laitteita kehitettäessä huomioitiin ja arvioitiin laitteen rakenteen aiheuttamia dispositioita tuotantoon, omakustannushintaan, markkinointiin, varastointiin sekä käyttöön. Dispositiomenetelmän avulla laitteita pyrittiin kehittämään siten, että universaaleiden hyveiden yhteenlaskettu summa on mahdollisimman suuri.

Laitteita suunnitellessa arvioitiin jokaisen suunnittelupäätöksen vaikutusta universaaleihin hyveisiin. Universaaleja hyveitä ovat hinta, läpimenoaika, laatu, tehokkuus, joustavuus, riski ja ympäristö. Tuotekehityksessä keskityttiin universaaleista hyveistä hintaan, laatuun sekä riskiin. Tuotekehityksen tuotoksena syntyneissä laitteissa käytetään arvokkaampia ja paremmin korroosiota sekä kulutusta kestäviä osia, jolloin tuotteiden laatu nousee. Valitettavasti tämä aiheuttaa myös hinnan nousua, mutta sitä voidaan korjata hiekan korkeammalla myyntihinnalla. Tuotteiden läpimenoaika ja tuotannon joustavuutta saadaan parannettua käyttämällä mahdollisimman samankaltaisia kokoonpanoja perusmallien kanssa. Rakenteiden eroista johtuen ATEX-hyväksytyjä laitteita ei voida rakentaa täysin sarjatuotantomallien osista, mutta pumpun samankaltaisen rakenteen ansiosta laitteet voidaan valmistaa samoissa työpisteissä ja samoilla työkaluilla. Tuotannon tuotama laatu saadaan ylläpidettyä korkeana, kun räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen laitteiden tuotantoprosessit ovat yhdenmukaiset standardimallien kanssa, joiden tuotantoprosessit on valmiiksi hiottu kuntoon. Universaaleista hyveistä tuotekehityksessä saatiin kasvatettua laatua ja riskiä saatiin vähennettyä, jolloin myös tämän hyve arvo kasvoi.

Hyveistä läpimenoaika, tehokkuus, joustavuus ja ympäristö säilyvät likimain samana, tosin tämä on kohtalaisen hyvä tilanne, kun tuotantoon tuodaan vanhojen tuotteiden rinnalle uusia tuotteita. Hyveistä heikkeni ainoastaan hinta, joka nousi ATEX-hyväksytyissä laitteissa verrattuna perusmallin HPW pumppuihin, johtuen kalliimmista raaka-aineista. Kokonaisuutena universaalit hyveet kasvoivat, kun laatu ja riski paranivat ja vastaavasti ainoastaan hinta heikkeni hieman.

Hyveitä arvioidessa on myös hyvä huomioida tutkimuksessa esiintyvät virhelähteet. Universaaleja hyveitä arvioidessa virhettä voi syntyä väärin tehdystä painotuksesta ominaisuuksien välillä sekä väärin tulkitusta hyveen muutoksesta. Kaikki hyveet eivät ole eksaktisti mitattavissa, jolloin on mahdollista määrittää muutoksen suuruus virheellisesti. Myös dispositioita analysoidessa hypoteesi ja sen tulkittu seuraus voi osoittautua virheelliseksi, jolloin on syytä kiinnittää erityistä huomiota tehtyihin oletuksiin ja niiden seurauksiin. Virheelliset tulkinnat saattavat vähentää toteutuneen ratkaisun paremmuutta verrattuna edelliseen toteutukseen, mutta toteutuman paremmuus pystytään kuitenkin todentamaan universaalien hyveiden avulla.

ATEX-hyväksytyjen laitteiden rakenteet ja valmistuspiirustukset toimitetaan säilytettäväksi Det Norske Veritasille (DNV GL), joka toimii ilmoitettuna laitoksena. Tästä johtuen ATEX-laitteiden tuotekehitys hidastuu huomattavasti standardimalleihin verrattuna, kun kaikki muutokset valmistuksessa tulee päivittää ja ilmoittaa ilmoitetulle laitokselle. Lisäksi ATEX-hyväksynnän saaneiden laitteiden kohdalla valmistaja ottaa vastuun tuotteidensa soveltuvuudesta ja turvallisuudesta räjähdysvaarallisissa tiloissa, kun laitetta käytetään valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti.

Työssä saatujen tulosten avulla saadaan kaikki tarvittavat tiedot, jotta voidaan muodostaa tarvittavat dokumentit hyväksyntää varten. Kun dokumentit on täytetty ja toimitettu ilmoitetulle laitokselle ja saatu sieltä ilmoitus dokumenttien varastoimisesta, voidaan ATEX-hyväksytyjen pumppujen myynti aloittaa Dynaset Oy:ssä. Vaatimuksia selvittäessä ollaan samalla saatu selville myös kriteerit mahdollisten uusien tuotteiden hyväksymisvaatimuksille räjähdysvaarallisiin tiloihin. Työssä saatiin muodostettua menetelmä, jonka avulla voidaan suunnitella mekaanisia laitteita räjähdysvaaralliseen tilaan. Tätä saatua menetelmää voisi kuvata ”DF ATEX” termillä, joka tarkoittaa design for ATEX eli suunnittelua ATEX vaatimusten perusteella.

Työn tuloksena yritys saa käyttöönsä toimivan suunnittelumenetelmän korkeapainevesipumppujen suunnitteluun, jossa otetaan huomioon kaikki yrityksen toiminnot. Tätä menetelmää voidaan soveltaa myös yleisesti kaikkiin mekaanisiin laitteisiin myös ATEX-tilojen ulkopuolella, mutta parhaiten työn tulosta voidaan hyödyntää räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden suunnittelussa. Tämä työ tarjoaa hyvän referenssin dispositiomenetelmän käytöstä tulevaisuuden tutkimuksiin ja auttaa yhdistämään taustalla olevan teorian käytäntöön.

Muodostaessa dispositioita tuotteen suunnittelupäätösten pohjalta, saadaan hyvä käsitys yrityksen sisäisten toimintojen välisistä suhteista ja kuinka päätösten vaikutukset heijastuvat muualle organisaatioon. Tunnettaessa organisaation eri toimintojen väliset dispositiot, on helpompi kehittää toimintojen välistä yhteistyötä ja suunnitteluprosessia tehokkaammaksi.

Kolmatta tutkimuskysymystä käsiteltiin kappaleessa 5.2.2, jossa tutkittiin toteutuneiden suunnitteluvalintojen vaikutuksia yrityksen muihin toimintoihin. Kappaleessa todettiin vaikutuksen ostoon olevan vähäinen, koska uusia osia ei juurikaan syntynyt prosessin aikana. Tuotannon työkuormaa lisää erikoismallit, johtuen rakennemuutoksista sekä pienemmästä valmistusmäärästä. Markkinoinnille tämä aiheuttaa lisätöitä johtuen erilaisesta dokumentoinnista sekä laajemmasta käyttöohjeesta. Muilta osin uudella tuoteperheellä ei ole juurikaan vaikutusta yrityksen toimintoihin.

## 7. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä tavoitteena oli saada räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen laitteiden ATEX-hyväksynnit kaikille Dynaset Oy:n tuotteille, joille se on mahdollista ilman suuria investointeja tai raskaita hyväksymisprosesseja. Työ toteutettiin tuotekehitysprojektina, jonka päämääränä oli määrittää vaatimukset ja saada hyväksyntä hydraulisesti toimiville korkeapainevesipumpuille räjähdysvaaralliseen tilaan. Tuotekehitysprojekti käsittelee kaiken tarvittavan alkukartoituksesta lähtien aina siihen saakka, kunnes ilmoitetulta laitokselta saadaan sertifikaatti laitteiden hyväksymisestä laiteluokkien M2 ja 2 räjähdysvaarallisiin tiloihin. Tuotekehitysprojektissa apuna käytettiin dispositiomenetelmää. Työhön sisältyi tutkimuksen ja tuotekehityksen lisäksi myös ATEX-sertifikaatin vaatiman dokumentaation tuottaminen, dokumentaation toimittaminen ilmoitetulle laitokselle sekä sertifikaatin hankinta.

Diplomityö aloitettiin tutustumalla nykyisiin tuotteisiin Dynaset Oy:n tuotevalikoimassa. Tuotteisiin tehdyn syvällisen perehtymisen jälkeen selvitettiin ATEX-direktiivin sekä standardien vaatimukset, jotka täyttämällä laitteet voidaan hyväksyttää räjähdysvaarallisiin tiloihin. Täyttääkseen ATEX-direktiivin vaatimukset, täytyy laitteiden vastata yhdenmukaistettujen standardien asettamat vaatimukset räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettuille laitteille. Teollisuudessa käytettävien laitteiden tulee täyttää standardin EN 13463 vaatimukset ja kaivoksissa käytettävien laitteiden EN 13463 ja EN 1710 asettamat vaatimukset.

Tämän jälkeen vertailtiin Dynaset Oy:n tuotevalikoimaa suhteessa ATEX-direktiivin vaatimuksiin, jonka pohjalta tehtiin valinnat mille laitteille haetaan hyväksyntää yhdessä suunnittelupäällikön kanssa. Laitteiden valinnan jälkeen suoritettiin laitteille vaaditut testit laitteiden kestävyydestä sekä mitattiin laitteiden suurimmat pintalämpötilat. Lisäksi hydraulikorkeapainevesipumpuille suoritettiin kuiva-ajotestit sekä tulenkestävyystestit ei-metallisista materiaaleista valmistetuille osille. Hyväksytyistä testeistä laadittiin testausraportit, jotka liitettiin mukaan DNV GL:lle toimitettavaan dokumenttiin.

Hyväksytyjen testien mukaisia komponentteja käyttämällä muokattiin kaikkien laitteiden rakenteet sellaisiksi, että ne täyttävät ATEX-direktiivin vaatimukset sekä dispositiomenetelmällä tavoitellut ominaisuudet. Laitteiden uudet rakenteet luotiin erp-järjestelmään sekä tuotettiin tarvittavat koodit uusille osille ja kokoonpanoille. Lisäksi tuotettiin rakenteet ja räjäytyskuvat PDM (tuotetiedon hallinta) -järjestelmään. Kaikkien hyväksyttävien laitteiden rakenteet, valmistuskuvat sekä kaikkien osien materiaalitiedot liitettiin mukaan toimitettavaan dokumenttiin. Lisäksi kaikille laitteille tehtiin syttymisriskiarvioinnit ja tarvittavat lisäykset käyttöohjeisiin, jotta laitteita käytetään oikein ja turvallisesti. Syttymisriskiarvioinnit ja täydelliset käyttöohjeet sisällytettiin myös toimitettavaan do-



kumenttiin. Lopuksi kaikki tuotetut dokumentit koottiin yhdeksi datapaketiksi, joka toimitettiin DNV GL:lle ATEX-hyväksyntää varten. Tämän jälkeen sieltä saatiin vastineeksi ATEX-sertifikaatti, joka oikeuttaa myymään sertifikaatissa mainittuja laitteita sertifikaatissa määritetyissä hyväksytyissä tiloissa ATEX-hyväksytyinä tuotteina.

Tavoitteeksi diplomityölle asetettiin ATEX-hyväksynnän hankkiminen kaikille mahdollisille Dynaset Oy:n valmistamille tuotteille. Työn alkutaipaleella jouduimme jättämään suuren osan tuotteista pois liian kalliin ja raskaan hyväksymisprosessin johdosta suhteessa ATEX-hyväksynnästä saatavaan hyötyyn. Valituille tuotteille haluttiin tuottaa hyväksyntään vaadittavat dokumentit, toimittaa ne DNV GL:lle joka toimii ilmoitettuna laitoksena ja lopulta saada heiltä hyväksyntä tuotteiden käyttämisestä teollisessa ympäristössä sekä kaivoksissa. Nämä asetetut tavoitteet voidaan katsoa hyvin saavutetuiksi, koska vuoden 2015 lokakuun alusta lähtien Dynaset Oy on voinut toimittaa ATEX-hyväksytyjä HPW ja HDF pumppuja kategorioiden 2 ja M2 tiloihin.

Jatkossa voidaan laajentaa Dynaset Oy:n ATEX-tuoteperhettä kattamaan myös hydraulikompressoreita, hydrauligeneraattoreita sekä uusia kehitettäviä laitteita tarpeen mukaan. Näiden tuotteiden hyväksymisprosessit ovat huomattavasti laajemmat, kuin hydraulikorkeapainevesipumpuille suoritettu prosessi, joten näiden hyväksymisprosessin kannattavuutta tulee miettiä tarkasti ennen prosessin käynnistämistä. Sähköisiä komponentteja sisältävien laitteiden ATEX-hyväksynät sisältävät kalliita tyyppihyväksymistestejä sekä niissä käytettävien sähkökomponenttien tulee olla ATEX-tiloihin tarkoitettuja EX-komponentteja. Hyväksynnän saamiseksi tarvitaan myös yhteistyötä komponenttien toimittajien kanssa, jotta saadaan muodostettua kaikki vaadittavat dokumentit hyväksyntää varten.

Myös nykyisten tuotteiden hyväksymisdokumenttien ylläpidosta tulee huolehtia. Tuotteiden rakenteisiin tai materiaaleihin tehty muutokset tulee raportoida ilmoitetulle laitokselle, jotta ATEX-hyväksyntä säilyy voimassa. Lisäksi hakemus ja dokumentit tulee päivittää 10 vuoden kuluttua edellisestä hakemuksesta. Hakemusta voidaan myös täydentää uusilla malleilla hyväksynnän voimassaoloaikana, jos halutaan saada uusi tuote välittömästi myös ATEX-tiloihin hyväksytyksi.

Dynaset Oy:ssä olisi hyvä kehittää tuotetiedon hallintaa kattamaan kaikki valmistettavat tuotteet. Jokaiselle tuotteelle tulisi olla 3D-malli, valmistusrakenne sekä valmistuspiirustukset PDM:ssä, jotka sisältävät kokoonpano-ohjeet sekä kaikkien komponenttien materiaalit. Näillä tiedoilla tarvittavat dokumentit ATEX-hyväksyntään olisi valmiina järjestelmässä lukuun ottamatta syttymisriskien arviointia, joka on yksi tärkeä osa ATEX-hyväksyntää. PDM-järjestelmän laajempi käyttö parantaisi huomattavasti myös dispoitoiden havainnointia eri toimintojen välillä, kun PDM osoittaa selvästi mitkä dokumentit liittyvät tuotteeseen ja mille kaikille dokumenteille vaaditaan päivitystä, jos yhtä komponenttia tai tuotetta muutetaan. Myös PLM (tuotteen elinkaaren hallinta) -järjestelmän

käyttöönottoa olisi hyvä harkita, jolloin yrityksessä voitaisiin hallita tuotteen koko elinkaarta yhdessä kootussa järjestelmässä. PLM-järjestelmän käyttöönotto vaatisi lisäksi todennäköisesti myös muita tietojenhallinta ohjelmien hankkimista, kuten asiakastietojen hallintaohjelman, mutta näiden ohjelmistojen hankkiminen tulee Dynaset Oy:lle todennäköisesti eteen lähivuosina yrityksen kasvaessa ja kehittyessä.

## LÄHTEET

- [1] Yritysesittely, Ylöjärvi, 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.12.2016):  
<http://dynaset.com/index.php/fi/yritysesittely>
- [2] SFS-EN 13463-1:2009, Räjähdyksvaarallisten tilojen muut kuin sähkölaitteet. Osa 1: Perusmenetelmä ja vaatimukset, Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2009, 118 s.
- [3] Tutkimusstrategiat, Jyväskylä, 2014, Jyväskylän Yliopisto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.12.2018):  
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>
- [4] Kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät, Tampereen ammattikorkeakoulu, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 30.12.2018): <http://www2.amk.fi/mater/tutkimusmenetelmat/kvantitat/kuvailu/>
- [5] Aineistonhankintamenetelmät, Jyväskylä, 2014, Jyväskylän Yliopisto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.12.2018):  
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/aineistonhankintamenetelmat>
- [6] J. Olesen, Concurrent Development in Manufacturing, Ph.D.-thesis Technical University of Denmark, Institute for Engineering Design, 1992, 153 s.
- [7] M. M. Andreasen, C. T. Hansen, P. Cash, Conceptual Design. Interpretations, Mindset and Models, Springer, 2015, 394 s.
- [8] Tukes, ATEX, Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus, Tukes, 2012, 19 s.
- [9] ATEX ja EX- räjähdysvaaralliset tilat, Dio Koulutus Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.1.2017): [http://dio.fi/wp-content/uploads/2014/11/ATEX\\_tilaluo-kat.jpg](http://dio.fi/wp-content/uploads/2014/11/ATEX_tilaluo-kat.jpg)
- [10] Harmonised standards, Equipment for explosive atmospheres (ATEX), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.1.2017): <http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/equipment-explosive-atmosphere/>
- [11] Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/9/EY, Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, 1994, 31 s, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 3.1.2017):  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0009&from=EN>

- [12] SFS-EN 1127-1:2011, Potentially explosive atmospheres – Explosion prevention and protection, Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2011, 72 s.
- [13] SFS-EN 13463-5:2011, Non-electrical equipment intended for use in potentially explosive atmospheres – Part 5: Protection by constructional safety 'c', Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2011, 68 s.
- [14] SFS-EN 1710:2005+A1:2008, Kaivosten räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitetut laitteet ja komponentit, Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2008, 42 s.
- [15] SFS-EN 1710:2005+A1:2008/AC:2010, Kaivosten räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitetut laitteet ja komponentit, Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2010, 3 s.
- [16] T. Nieminen, P. Yli-Kätkä, Suunnitteluosasto, Dynaset Oy, Ylöjärvi, Haastattelu 2015-2018.
- [17] Product Catalogue, Dynaset Oy, 2015, 58 s.
- [18] Tuotekuvat, Dynaset Oy, 2018.
- [19] HPW200/30-45 Datasheet, Dynaset Oy, 2014, 7 s.
- [20] Mekaaniset ominaisuudet, Alumeco, Turku, 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.12.2016): [http://www.alumeco.fi/Tekninen\\_informaatio/Mekaaniset\\_ominaisuudet](http://www.alumeco.fi/Tekninen_informaatio/Mekaaniset_ominaisuudet)
- [21] Varastoluettelo, Ovako Imatra Oy Ab, 2014, 28 s, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 29.12.2016): [http://www.ovako.com/Global/Downloads/Product\\_information/Bar\\_products/FI/Turengin%20Steel%20Service%20Center%20Varastoluettelo.pdf](http://www.ovako.com/Global/Downloads/Product_information/Bar_products/FI/Turengin%20Steel%20Service%20Center%20Varastoluettelo.pdf)
- [22] Bronze – Wrought Alloys, Maranatha Now, Inc. DBA Atlas Bronze, 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.12.2016): [http://www.atlasbronze.com/category\\_s/1839.htm](http://www.atlasbronze.com/category_s/1839.htm)
- [23] Ruostumattoman teräksen lajit, Outokumpu, 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.12.2016): <http://www.outokumpu.com/fi/ruostumaton-teras/ruostumattoman-teraksen-lajit/Sivut/default.aspx>
- [24] Kumilaatujen ominaisuudet, Ravelast Oy, verkkodokumentti. Saatavissa (viitattu 30.1.2017): <http://www.ravelast.com/media/esitykset/kumityyppien-ominaisuudet.pdf>

- [25] EN ISO 340, Conveyor belts – Laboratory scale flammability characteristics – Requirements and test method, Suomen standardisoimisliitto SFS Oy, Helsinki, 2013, 11 s.

## LIITE A: TESTI 10% YLINOPEUDELLA

### MAXIMUM SURFACE TEMPERATURE 10% OVER SPEED

**Device:** HPW 200/30-45-(ST)-EX

#### Test conditions:

Oil flow was 50 l/min and room temperature 28-34 °C. The length of a test was 18 min. Test was made with a hydraulic unit in a test room. The test room's door was closed and air conditioning was stopped. The room temperature was measured near the pump and oil temperature was measured inside the tank. Oil flow was adjusted with a mechanical valve. The temperatures of the surfaces were measured on the center body and on the water head.

#### Test instruments:

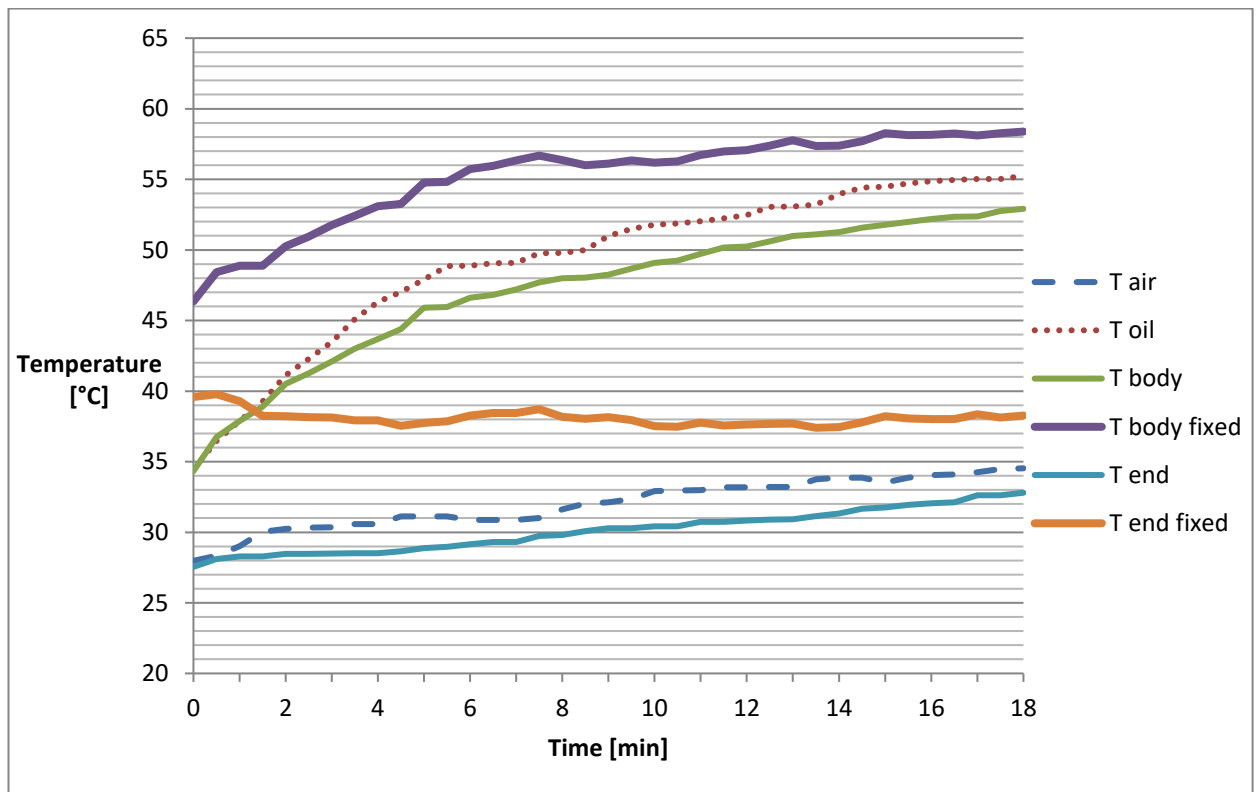
Temperature sensors (thermocouple K-type), timer and hydraulic oil flow meter (pulse sensor). Values were recorded to the computer and transferred to Excel for modification. Values were recorded every second (1 Hz) and then calculated average of 30 samples. Surface temperatures were fixed to the allowed maximum room temperature (40 °C).

#### Measurements:

**Table 1. Temperature measurements.**

Time [min]	T air [°C]	T oil [°C]	T body [°C]	T body fixed [°C]	T end [°C]	T end fixed [°C]
0,0	27,98	34,43	34,33	46,4	27,55	39,6
0,5	28,33	36,47	36,75	48,4	28,11	39,8
1,0	29,01	37,87	37,89	48,9	28,29	39,3
1,5	30,04	39,26	38,91	48,9	28,29	38,3
2,0	30,24	41,13	40,51	50,3	28,47	38,2
2,5	30,32	42,29	41,26	50,9	28,47	38,2
3,0	30,35	43,48	42,1	51,8	28,49	38,1
3,5	30,59	45,1	43	52,4	28,52	37,9
4,0	30,59	46,32	43,69	53,1	28,52	37,9
4,5	31,13	47,01	44,39	53,3	28,66	37,5
5,0	31,13	47,91	45,9	54,8	28,88	37,8
5,5	31,13	48,85	45,95	54,8	28,98	37,9
6,0	30,87	48,88	46,6	55,7	29,14	38,3
6,5	30,87	49,07	46,82	56,0	29,32	38,5
7,0	30,87	49,08	47,2	56,3	29,32	38,5
7,5	31,02	49,76	47,69	56,7	29,75	38,7
8,0	31,63	49,78	47,99	56,4	29,81	38,2
8,5	32,04	49,98	48,03	56,0	30,09	38,1

9,0	32,13	50,98	48,24	56,1	30,28	38,2
9,5	32,35	51,49	48,68	56,3	30,29	37,9
10,0	32,91	51,79	49,09	56,2	30,43	37,5
10,5	32,95	51,87	49,23	56,3	30,43	37,5
11,0	32,98	52,02	49,71	56,7	30,74	37,8
11,5	33,18	52,24	50,16	57,0	30,74	37,6
12,0	33,18	52,47	50,24	57,1	30,82	37,6
12,5	33,22	53,05	50,6	57,4	30,89	37,7
13,0	33,22	53,08	50,99	57,8	30,91	37,7
13,5	33,75	53,21	51,11	57,4	31,15	37,4
14,0	33,87	53,95	51,26	57,4	31,32	37,5
14,5	33,87	54,4	51,58	57,7	31,66	37,8
15,0	33,52	54,48	51,78	58,3	31,75	38,2
15,5	33,87	54,71	51,99	58,1	31,93	38,1
16,0	34,04	54,86	52,19	58,2	32,06	38,0
16,5	34,1	54,96	52,34	58,2	32,11	38,0
17,0	34,26	55,02	52,37	58,1	32,61	38,4
17,5	34,49	55,02	52,75	58,3	32,61	38,1
18,0	34,53	55,24	52,91	58,4	32,8	38,3



*Picture 1. Temperature versus time graph about over speed test.*

#### **Observations:**

Water head temperature was leveled almost to the same than room temperature, which was 28-34 °C. Fixed water head temperature is near to 40 °C. Water temperature and room temperature are the biggest factors that affects to the surface temperature. In

this test water temperature was the same than room temperature. Pump's center body surface temperature was about 2 °C lower than oil temperature during the test. The test was stopped after 18 min because electric motor temperature exceeded the determined maximum value and test device stops. Oil temperature is the biggest factor to the pump's surface temperature, so it should be monitored. Oil temperature must not exceed 70 °C to maintain oil's lubrication properties and to keep surface temperature under 80 °C.

Room temperature is not the controlling temperature of the system because most of the heat from the pump transfers into hydraulic oil and pumped liquids. Fixed surface temperature is levelling to about 60 °C.

**Conclusion:**

Maximum surface temperature of HPW 200/30-45-(ST)-EX is almost same than oil and/or water temperatures, so these temperatures must be limited to 70 °C. This device is appropriate to temperature class T6, but fluid temperatures must be monitored. This measurement applies for the whole HPW family series (HPW, HDF, HVB, HVD, HRU, HPI and HRC).



## LIITE B: TESTI VAPAAKIERTOVENTTIILI AUKI ASENNOSSA

### MAXIMUM SURFACE TEMPERATURE (BY-PASS VALVE OPENED)

**Device:** HPW 200/30-45-ST-EX

#### Test conditions:

Oil flow 45 l/min, room temperature 24-28 °C. The length of a test was 29 min. Test was made with a hydraulic unit in a test room. The test room's door was closed and air conditioning was shut down. The room temperature was measured near the pump and oil temperature was measured inside the tank. Oil flow was adjusted with a mechanical valve.

#### Test instruments:

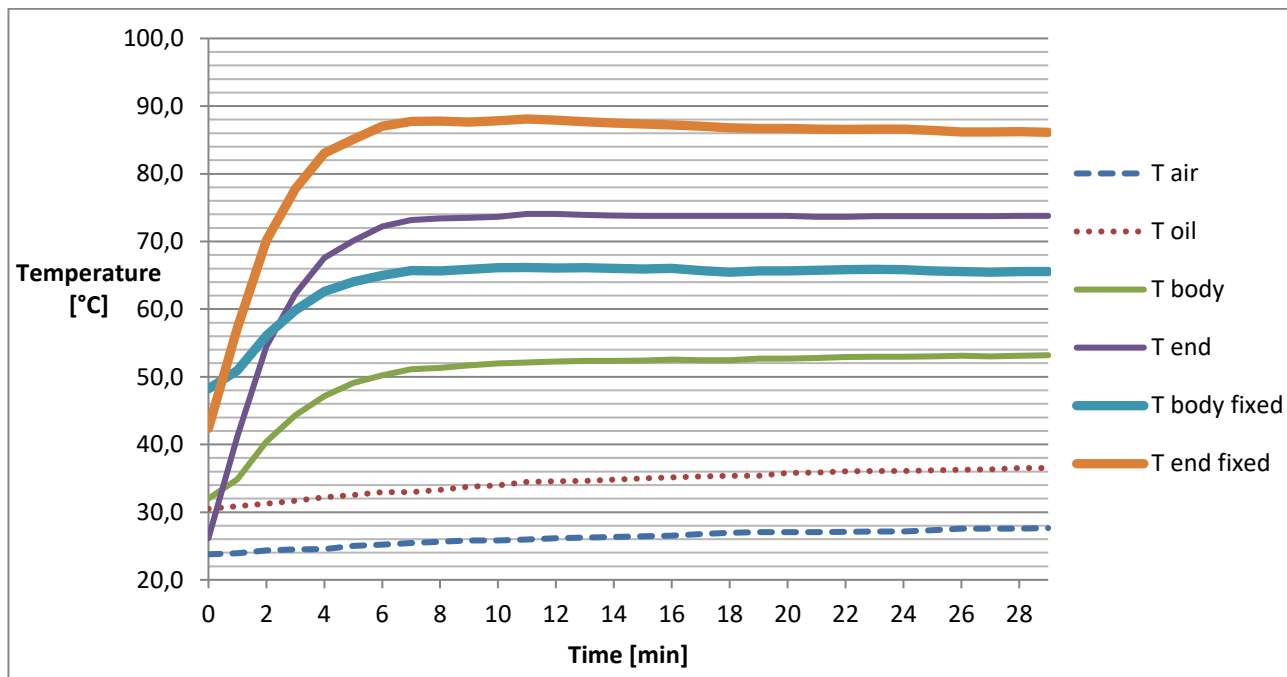
Temperature sensors (thermocouple K-type), timer and hydraulic oil flow meter (pulse sensor). Values were recorded to the computer and transferred to Excel for modification. Values were recorded every second (1 Hz) and then calculated average of 60 samples. Body and end temperatures were fixed to the allowed maximum room temperature (40 °C).

#### Measurements:

*Table 2. Measured temperature values.*

Time [min]	T air [°C]	T oil [°C]	T body [°C]	T end [°C]	T body fixed [°C]	T end fixed [°C]
0	23,8	30,5	32,0	26,2	48,2	42,4
1	23,9	30,9	34,9	41,2	50,9	57,2
2	24,4	31,3	40,4	54,5	56,1	70,2
3	24,5	31,7	44,3	62,3	59,8	77,8
4	24,5	32,2	47,2	67,6	62,6	83,0
5	25,0	32,5	49,1	70,1	64,1	85,1
6	25,2	33,0	50,2	72,2	65,0	87,0
7	25,4	33,0	51,1	73,2	65,7	87,7
8	25,6	33,3	51,3	73,4	65,7	87,8
9	25,8	33,8	51,7	73,5	65,9	87,7
10	25,8	34,0	52,0	73,6	66,1	87,8
11	26,0	34,5	52,1	74,1	66,2	88,1
12	26,2	34,6	52,2	74,1	66,1	87,9
13	26,2	34,6	52,4	73,9	66,1	87,7
14	26,3	34,8	52,4	73,8	66,0	87,5

15	26,4	35,0	52,4	73,8	66,0	87,4
16	26,6	35,2	52,6	73,8	66,0	87,2
17	26,8	35,3	52,4	73,8	65,7	87,0
18	27,0	35,4	52,4	73,8	65,5	86,8
19	27,1	35,4	52,7	73,8	65,7	86,7
20	27,1	35,8	52,7	73,8	65,7	86,7
21	27,1	35,8	52,8	73,7	65,7	86,6
22	27,1	36,0	52,9	73,7	65,8	86,6
23	27,1	36,1	53,0	73,7	65,9	86,6
24	27,1	36,1	53,0	73,7	65,9	86,6
25	27,4	36,2	53,0	73,7	65,7	86,4
26	27,6	36,3	53,1	73,7	65,5	86,2
27	27,6	36,3	53,0	73,7	65,5	86,2
28	27,6	36,5	53,1	73,8	65,6	86,2
29	27,7	36,5	53,2	73,8	65,5	86,2



**Picture 2. Temperature graph of measured values at by-pass valve opened.**

#### **Observations:**

Water end heats up the most. Maximum fixed temperature for water end is 88,1 °C at a time of 11 min. After that temperature is leveled to 87-86 °C. The measured maximum temperature was 74 °C. The main cause for water end heating is the pressure losses at by-pass valve. Small amount of water is circulating inside the pump and it heats rapidly to 74 °C. Some of the heat in water transfers into hydraulic oil by conduction and rest of heat transfers into air by convection and radiation.

#### **Conclusion:**

Maximum surface temperature of HPW 200/30-45-ST-EX is 88 °C which is lower than T5 limit 95 °C for type test, so this device is appropriate to temperature class T5. All models with PA/ST by-pass valve are therefore appropriate to temperature class T5.

## LIITE C: ISKUNKESTÄVYYSTESTI

### TEST FOR RESISTANCE TO IMPACT

**Device:** HPW 200/30-45

**Impact energy:** 20 J, 1,00 kg mass falling vertically from a height 2 m. Impact head is hemisphere of diameter 25 mm and made of hardened steel.

**Test conditions:** Temperature 21 °C

The test is made on one sample, at two separate places.



*Picture 3. Test device.*

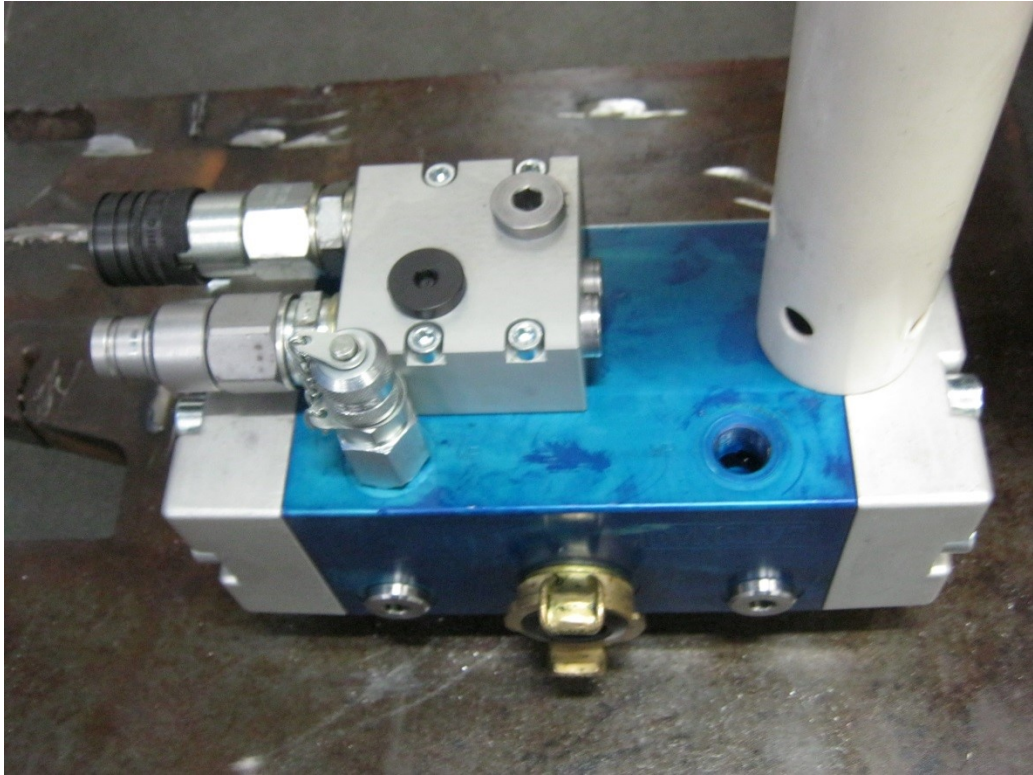


***Picture 4. Impact head.***

The pump was fastened with bolts to the steel base, mass 23 kg. Plastic guide tube was fastened to vice with bolts and steel bar. Bottom of the pipe has holed that air can flow out of the pipe in front of the steel mass.

The points of impact were placed on positions which could produce an ignition risk. Those places were above sealing flange and above water head seal. Deformation in the body could cause increased friction between seals and water pistons and therefore produce hot surfaces. Above water pressure line impact could cause cracks, but in this situation the exiting liquid is only water and it does not produce ignition hazards.

HPW 200/30-45 is the smallest and weakest pump in HPW family; therefore we test with this pump.



*Picture 5. Pump before impact test.*



*Picture 6. Pump after impact test.*



**Observations:**

Nothing dramatically happened in the impact test. Only small dents were born which does not affect to pump operation in any way. Efficiency tests before and after impact test prove that pump is in full operation condition after impact test.

**Table 3. Test before impact test.**

Water pressure (bar)	Oil flow (l/min)	Oil pressure (bar)
50	17,2	55
100	24,1	102
150	30,0	152
180	33,0	186

**Table 4. Test after impact test.**

Water pressure (bar)	Oil flow (l/min)	Oil pressure (bar)
50	16,8	54
100	23,8	100
150	30,0	158
180	33,8	193

Accuracy of measurements were  $\pm 2$  bar and  $\pm 1$  l/min.

**Conclusion:**

HPW 200/30-45 is the smallest and weakest model in HPW family and it does not harm in any way, so every model in HPW family are resistance to requisite impacts. Test for other models is omitted because they are unnecessary due to a more rigid structure.

Operation instructions advices the correct way to install the pump and to protect it from external impacts.

## LIITE D: KUIVA-AJOTESTI HPW200/30-45

### MAXIMUM SURFACE TEMPERATURE (DRY RUN) EN 13463-5 ANNEX B.1

**Device:** HPW 200/30-45-(ST)-EX

#### **Test conditions:**

Oil flow was 45 l/min and room temperature 25-27 °C. The length of a test was over 60 min. Test was made with a hydraulic unit in a test room. The test room's doors were closed and air conditioning was stopped. The room temperature was measured near the pump and oil temperature was measured inside the tank. Oil flow was adjusted with a mechanical valve. The temperature of the seal was measured inside the pump, in the seal flange. Velocity of the water piston was 0,8 m/s during the test. Velocity of HPW 200 pump is fastest of the HPW and HDF series which use PTFE seals, so this measurement covers every model which use seals with this material. All pumps which maximum pressure is under 400 bar uses PTFE seals.

#### **Test instruments:**

Temperature sensors (thermocouple K-type), timer and hydraulic oil flow meter (pulse sensor). Values were recorded to the computer and transferred to Excel for modification. Values were recorded every second (1 Hz) and then calculated average of 60 samples. Seal temperature was fixed to the allowed maximum room temperature (40 °C).

#### **Measurements:**

Pump body and water head temperatures were leveled to 40 °C and seal temperature was significantly higher, so these values are irrelevant and are not presented in the document.

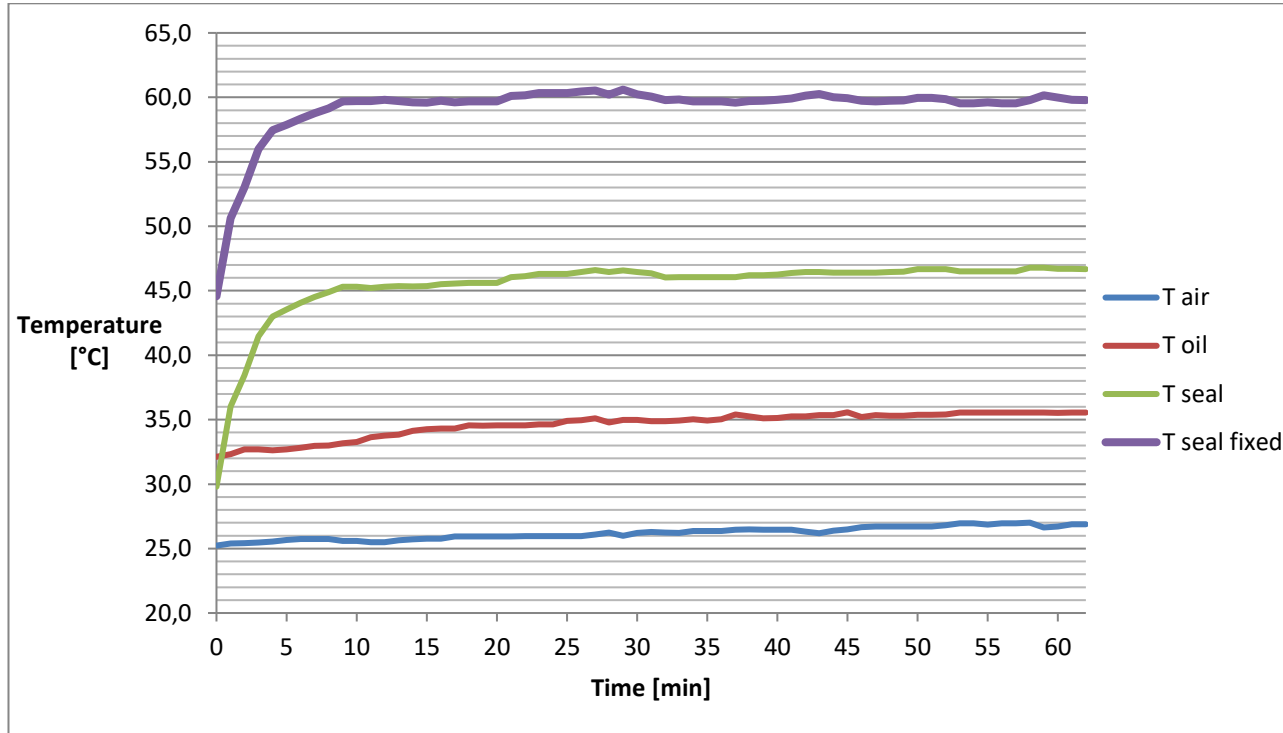
**Table 5. Temperature measurements.**

Time [min]	T air [°C]	T oil [°C]	T seal [°C]	T seal fixed [°C]
0	25,2	32,1	29,8	44,6
1	25,4	32,3	36,0	50,6
2	25,4	32,7	38,4	53,0
3	25,5	32,7	41,5	56,0
4	25,5	32,6	43,0	57,5
5	25,7	32,7	43,5	57,9



6	25,7	32,8	44,1	58,3
7	25,7	33,0	44,5	58,8
8	25,7	33,0	44,9	59,2
9	25,6	33,2	45,3	59,7
10	25,6	33,3	45,3	59,7
11	25,5	33,7	45,2	59,7
12	25,5	33,8	45,3	59,8
13	25,7	33,8	45,4	59,7
14	25,7	34,1	45,3	59,6
15	25,8	34,3	45,4	59,6
16	25,8	34,3	45,5	59,8
17	25,9	34,3	45,6	59,6
18	25,9	34,6	45,6	59,7
19	25,9	34,5	45,6	59,7
20	25,9	34,6	45,6	59,7
21	25,9	34,6	46,1	60,1
22	26,0	34,6	46,1	60,2
23	26,0	34,6	46,3	60,3
24	26,0	34,6	46,3	60,3
25	26,0	34,9	46,3	60,3
26	26,0	35,0	46,4	60,5
27	26,1	35,1	46,6	60,5
28	26,2	34,8	46,4	60,2
29	26,0	35,0	46,6	60,6
30	26,2	35,0	46,5	60,2
31	26,3	34,9	46,4	60,1
32	26,2	34,9	46,0	59,8
33	26,2	34,9	46,1	59,8
34	26,4	35,0	46,1	59,7
35	26,4	34,9	46,1	59,7
36	26,4	35,0	46,1	59,7
37	26,5	35,4	46,1	59,6
38	26,5	35,3	46,2	59,7
39	26,5	35,1	46,2	59,7
40	26,5	35,1	46,3	59,8
41	26,5	35,3	46,4	59,9
42	26,3	35,3	46,5	60,1
43	26,2	35,4	46,5	60,3
44	26,4	35,4	46,4	60,0
45	26,5	35,6	46,4	59,9
46	26,7	35,2	46,4	59,8
47	26,7	35,4	46,4	59,7
48	26,7	35,3	46,5	59,8
49	26,7	35,3	46,5	59,8
50	26,7	35,4	46,7	60,0
51	26,7	35,4	46,7	60,0
52	26,8	35,4	46,7	59,9
53	27,0	35,6	46,5	59,5
54	27,0	35,6	46,5	59,5
55	26,9	35,6	46,5	59,6
56	27,0	35,6	46,5	59,5
57	27,0	35,6	46,5	59,5
58	27,0	35,5	46,8	59,8
59	26,6	35,5	46,8	60,2
60	26,7	35,5	46,7	60,0

61	26,9	35,5	46,7	59,8
62	26,9	35,5	46,7	59,8



**Picture 7. Temperature versus time graph about HPW 200 dry run test.**

#### Observations:

Seal temperature was leveled to 46-47 °C when room temperature was 26-27 °C. Fixed seal temperature is then approximately 61 °C. Pump surface temperatures were about 6 °C lower than seal temperature, so in this case fixed surface temperature is max. 54 °C.

#### Conclusion:

Maximum surface temperature of HPW 200/30-45-(ST)-EX is 61 °C which is lower than T6 limit 80 °C for type test, so this device is appropriate to temperature class T6. All HPW family pumps, which pressure is under 400 bar uses the same material in seals and are therefore appropriate to temperature class T6.

#### Models:

- HPW200/30-45-EX
- HPW220/50-70-EX
- HPW90/150-85-EX

- HPW180/90-115-EX
- HPW130/180-140-EX
- HPW300/300-350-EX
- HDF40/40-8-EX
- HDF180/23-35-EX
- HDF90/150-85-EX
- HDF160/70-90-EX
- HDF200/40-55-EX
- HDF200/250-280-EX

## LIITE E: KUIVA-AJOTESTI HPW420/20-50

### MAXIMUM SURFACE TEMPERATURE (DRY RUN) EN 13463-5 ANNEX B.1

**Device:** HPW 420/20-50-EX

#### **Test conditions:**

Oil flow was 50 l/min and room temperature 22-29 °C. The length of a test was over 60 min. Test was made with a hydraulic unit in a test room. The test room's door was closed and air conditioning was stopped. The room temperature was measured near the pump and oil temperature was measured inside the tank. Oil flow was adjusted with a mechanical valve. The temperature of the seal was measured inside the pump, in the seal flange. Velocity of the water piston was 0,84 m/s during the test. Velocity of HPW 420 pump is fastest of the HPW with this seal (UHMPWE), so this measurement covers the pumps which maximum pressure is over 400 bar in the HPW product family.

#### **Test instruments:**

Temperature sensors (thermocouple K-type), timer and hydraulic oil flow meter (pulse sensor). Values were recorded to the computer and transferred to Excel for modification. Values were recorded every second (1 Hz) and then calculated average of 120 samples. Seal temperature was fixed to the allowed maximum room temperature (40 °C).

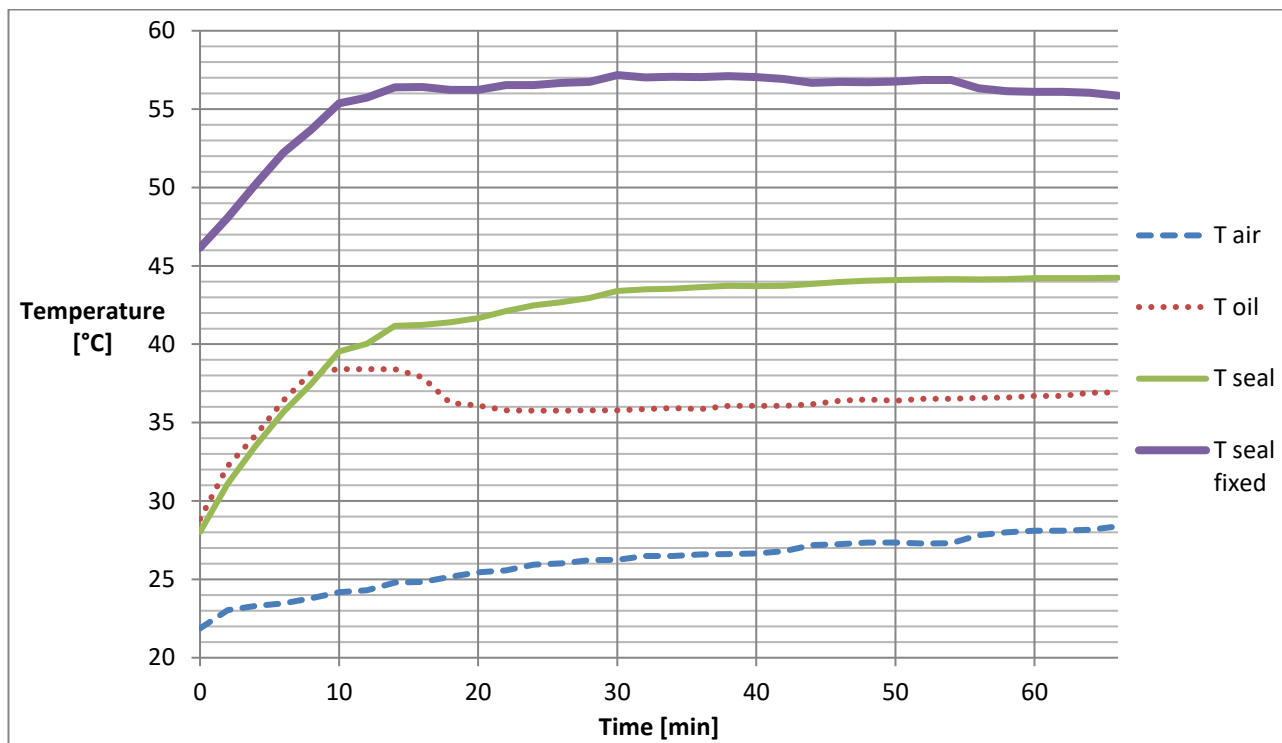
#### **Measurements:**

Pump's water head temperature was approximately 4 °C lower than seal temperature, so this value is irrelevant.

**Table 6. Temperature measurements.**

Time [min]	T air [°C]	T oil [°C]	T seal [°C]	T seal fixed [°C]
0	21,87	28,85	28,03	46,2
2	23,04	32,22	31,11	48,1
4	23,31	34,19	33,52	50,2
6	23,46	36,42	35,68	52,2
8	23,79	38,2	37,48	53,7
10	24,18	38,41	39,54	55,4

12	24,31	38,41	40,04	55,7
14	24,8	38,41	41,18	56,4
16	24,83	37,89	41,23	56,4
18	25,17	36,25	41,39	56,2
20	25,44	36,09	41,66	56,2
22	25,58	35,79	42,11	56,5
24	25,94	35,76	42,48	56,5
26	26,01	35,76	42,69	56,7
28	26,22	35,79	42,95	56,7
30	26,24	35,79	43,41	57,2
32	26,48	35,87	43,5	57,0
34	26,48	35,93	43,55	57,1
36	26,59	35,87	43,64	57,1
38	26,61	36,07	43,72	57,1
40	26,66	36,07	43,7	57,0
42	26,79	36,07	43,72	56,9
44	27,18	36,16	43,85	56,7
46	27,24	36,39	43,97	56,7
48	27,34	36,47	44,05	56,7
50	27,34	36,4	44,09	56,8
52	27,29	36,52	44,14	56,9
54	27,31	36,52	44,16	56,9
56	27,81	36,58	44,14	56,3
58	28,01	36,59	44,16	56,2
60	28,11	36,7	44,22	56,1
62	28,11	36,7	44,21	56,1
64	28,17	36,91	44,22	56,1
66	28,38	36,93	44,24	55,9



*Picture 8. Temperature versus time graph about HPW 420 dry run test.*

**Observations:**

Seal temperature was leveled to 44 °C when room temperature was 26-28 °C. Fixed seal temperature is then approximately 57 °C. Pump surface temperatures were about 4 °C lower than seal temperature, so in this case fixed surface temperature is maximum 53 °C. Oil temperature was highest after 10 minutes and then it drops a little because water heat exchanger of the test device starts to cool hydraulic oil. Heat exchanger is temperature controlled.

**Conclusion:**

Maximum surface temperature of HPW 420/20-50-EX is 57 °C which is lower than T6 limit 80 °C for type test, so this device is appropriate to temperature class T6. All HPW pumps which water pressure is over 400 bar are using same seal materials (UHMWPE) and are therefore appropriate to temperature class T6.

**Models:**

- HPW420/20-50-EX
- HPW520/30-85-EX
- HPW460/50-115-EX
- HPW800/30-140-EX
- HPW1000/30-140-EX
- HPW1600/15-140-EX
- HPW1200/100-440-EX

## LIITE F: TULENKESTÄVYYSTESTI

### TEST FOR FIRE RESISTANCE (NON-METALLIC)

**Parts:** Rubber cushion 40/30-M8, Rubber cushion 40/35-M10 and Rubber cushion (HPW90/130, HPW 300/300 and HPW 1200/100). Material is silicone rubber (color: Red).

**Test conditions:** Temperature 21 °C.

**Test devices:** Flame: Bunsen type gas burner, inside diameter of tube is 10,5 mm. Gas type: propane gas. Flame height: 150 mm and inner flame high approximately 50 mm. Flames temperature is over 1000 °C. Position of the burner is 45 degrees immediately under the central vertical axis in the planar centerline of the test piece.

Application period is 10 s and the burning time after removal of the flame shall not exceed 15 s.

**Observations:** Burning time after removal of the flame was 10 second at first time and 11 second at second time.



Picture 9. Silicone rubber after the fire resistance test.

**Conclusion:** Red silicone rubber is fire resistant material according to the test method of standard EN 1710 and therefore suitable to use in ATEX applications.